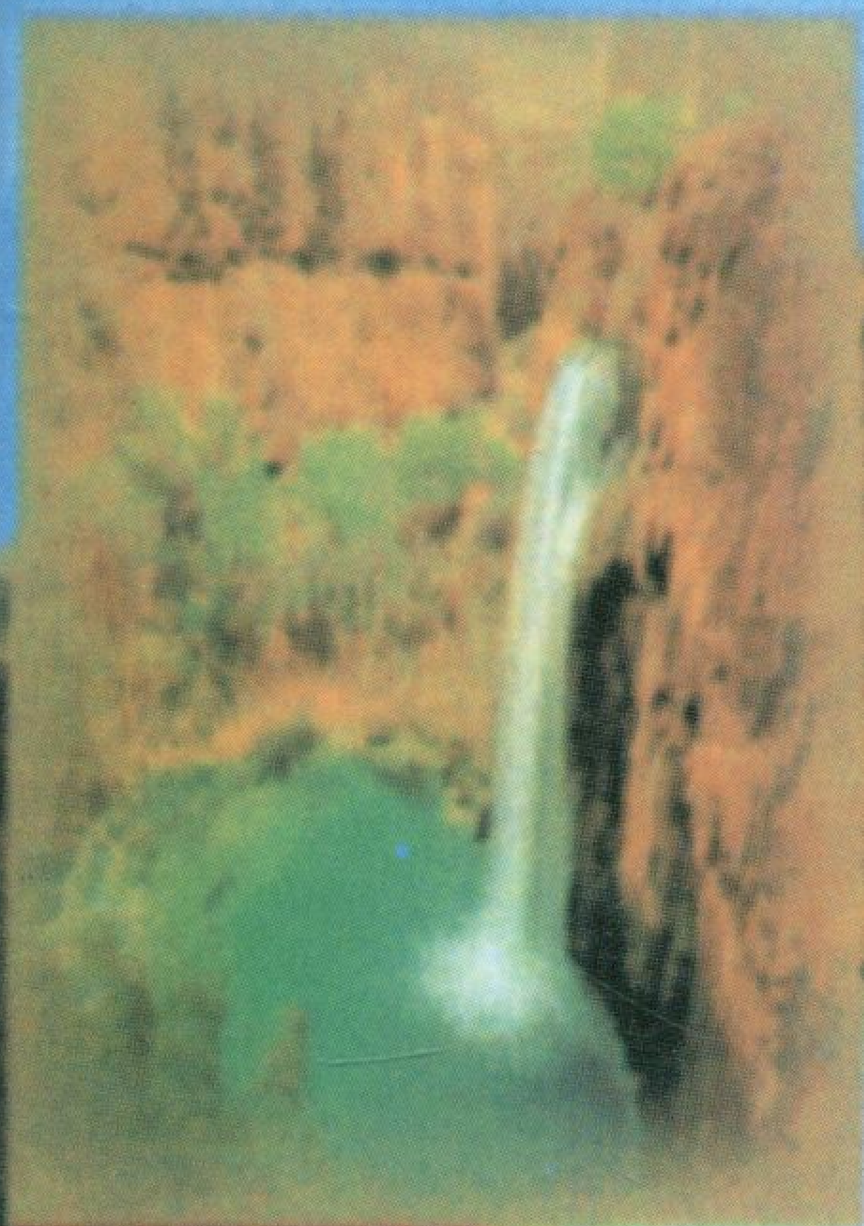
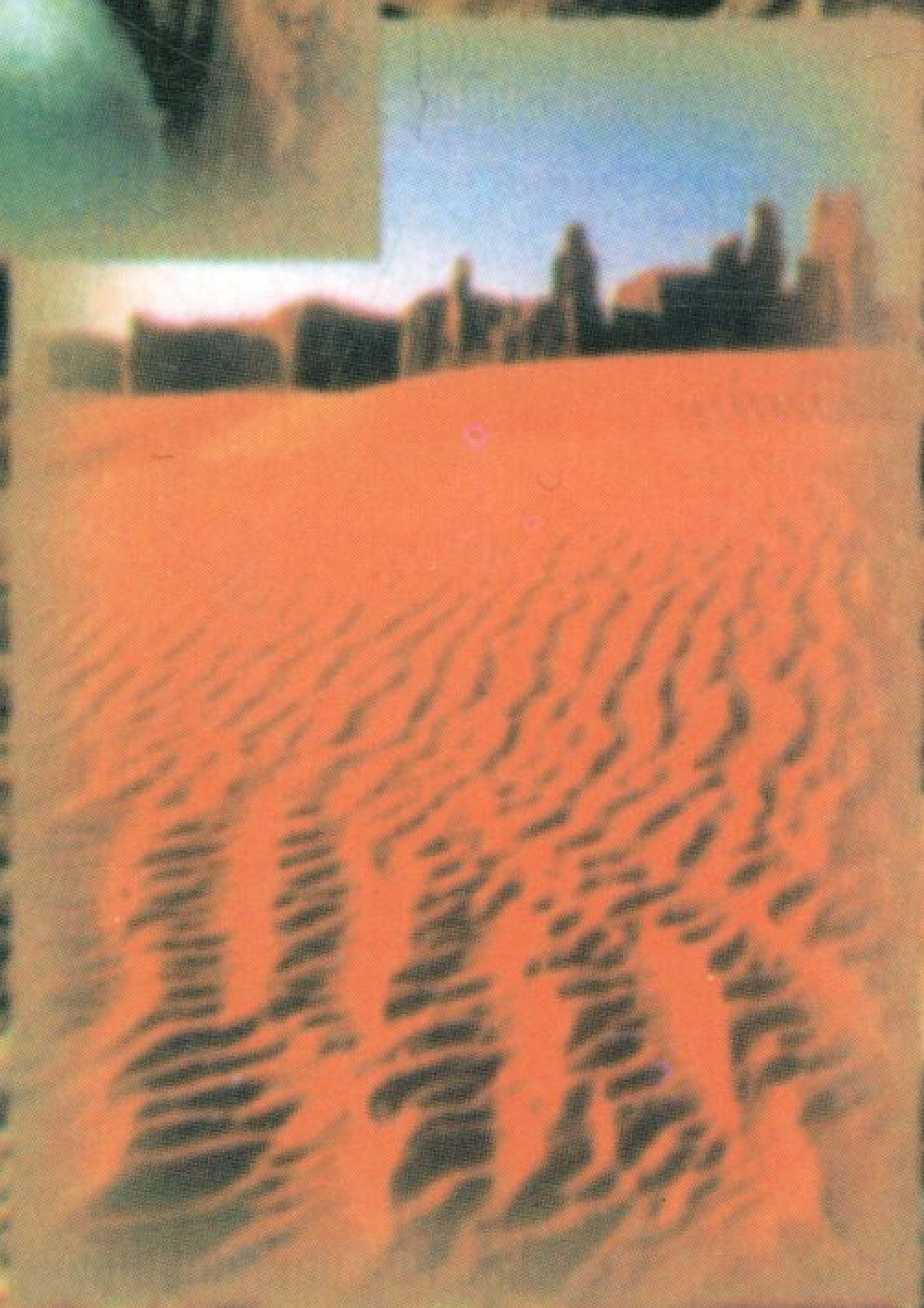
الجغرافيا الطبيعية

دكتور
حسن سيد أحمد أبو العينين







مؤسسة الثقافة الجامعية

الجغرافيا الطبيعية

تأليف
أستاذ دكتور
حسن سيد أحمد أبو العينين
M. A. (1962) Ph. D., Sheffield Univ. (1964) U.K
أستاذ الجغرافيا الطبيعية – ومساعد العميد للشئون الأكاديمية
كلية العلوم الاجتماعية – جامعة الكويت

الناشر
مؤسسة الثقافة الجامعية
٤٠ ش الدكتور مصطفى مشرفه
ت ٤٨٣٥٢٢٤ – الاسكندرية

بسم الله الرحمن الرحيم

وَجَعَلْنَا فِي ٱلْأَرْضِ رَوَٰسِيَ أَن تَمِيدَ بِهِمْ وَجَعَلْنَا فِيهَا فِجَاجًا
سُبُلًا لَّعَلَّهُمْ يَهْتَدُونَ ﴿٣١﴾ وَجَعَلْنَا ٱلسَّمَآءَ سَقْفًا مَّحْفُوظًا
وَهُمْ عَنْ ءَايَٰتِهَا مُعْرِضُونَ ﴿٣٢﴾ وَهُوَ ٱلَّذِى خَلَقَ ٱلَّيْلَ
وَٱلنَّهَارَ وَٱلشَّمْسَ وَٱلْقَمَرَ كُلٌّ فِى فَلَكٍ يَسْبَحُونَ ﴿٣٣﴾ وَمَا

صدق الله العظيم

سورة الأنبياء (٣٠ – ٣٣)

مقدمة

تختص الجغرافيا الطبيعية بدراسة النظم الطبيعية فى البيئة التى يعيش فيها الإنسان، ومن بين أهدافها إبراز أوجه العلاقات المترابطة بين عناصر البيئة الطبيعية وتوزيعها الجغرافى وجمع قاعدة بيانات مدعومة بالأدلة العلمية عنها لخدمة بقية أفرع العلوم الجغرافية الأخرى حتى تكون الاستنتاجات التى تقدمها هذه العلوم لها دلالاتها العلمية. ومن ثم فإن الجغرافيا الطبيعية هى ركن مهم من أركان العلوم الجغرافية وتعمل على دعمها وتعزيز مكانتها وربطها بغيرها من العلوم الأخرى. ولما كان ميدان الجغرافيا الطبيعية ميداناً فسيحاً يعرض لدراسة النظام الفضائى وعلاقة كوكب الأرض بالمجموعة الشمسية وبقية الكون والنظم الصخرية والغازية والمائية لكوكب الأرض نفسه، كان من الضرورى ربط هذه النظم بعضها بالبعض الآخر وإظهار العلاقات المتبادلة بينها لإيضاح الصورة الشاملة لخصائص البيئة الطبيعية التى تمثل مسرح الحياة ومجال نشاط الانسان.

ومن ثم يختلف مفهوم الجغرافيا الطبيعية وأهدافها عن بقية العلوم الطبيعية البحتة التى يتناول كل منها موضوعاً محدداً بعينه من بين موضوعات البيئة الطبيعية. فإذا كانت الجيولوجيا تختص بدراسة صخور قشرة الأرض والمتيورولوجيا بدراسة الطقس اليومى وعلم المناخ بدراسة الظروف المناخية لسطح الأرض، وعلم الأقيانوغرافيا (بأفرعه المختلفه) بدراسة البحار والمحيطات من النواحى الطبيعية والكيميائية والبيولوجية وعلم الهيدرولوجيا بدراسة الموارد المائية، فإن الجغرافيا الطبيعية تختص هى الأخرى بدراسة كل هذه المجالات مجتمعة وذلك لإظهار العلاقات المترابطة فيما بين نتائج هذه العلوم والتوزيع الجغرافى والتحليل المكانى لكافة هذه الظاهرات وإظهار علاقاتها بنشاط الانسان وتفسير التباين المكانى لمختلف الظاهرات البيئية.

غير أننا نجد أن معظم الكتاب كما يتبين من دراسة المراجع الأجنبية

(والعربية) التى تناولت الجغرافيا الطبيعية بالدراسة لم يظهروا هذه العلاقات المترابطة بين الظاهرات الطبيعية فى البيئة بصورة واضحة. فقد درس هيدور *Hidore, JJ., 1990* [١] فى كتابه عن الجغرافيا الطبيعية ٤٢ فصلاً متتابعاً (دون تقسيمها الى أبواب مترابطة) ناقش فيها موضوعات مختارة من البيئة الطبيعية. ودرس الأستاذ باتون *C.P.Patton, 1974,* [٢] وزملاؤه فى كتابهم عن الجغرافيا الطبيعية ٢٣ فصلاً متتابعاً عن عناصر البيئة الطبيعية دون تقسيمها الى أبواب مترابطة. وناقش ڤان ريبير *Van Riper, J. E., 1962* [٣] خمسة عشر موضوعاً فى الجغرافيا الطبيعية وكان كل موضوع فيها منفصلاً عن غيره من الموضوعات الأخرى.

وتناول بعض الكتاب الآخرين موضوعات الجغرافيا الطبيعية بالدراسة فى أبواب وكل باب قد ينقسم أو لا ينقسم الى فصول. فنجد فى كتاب ماكينتير *Mc Intyre, M. P, 1991* [٤] عن الجغرافيا الطبيعية دراسة الأغلفة الطبيعية الرئيسة لكوكب الأرض مصنفة الى خمسة أغلفة وقد عرض لها فى خمسة أبواب تتألف من ٢٧ موضوعاً، واعتبر ماكينتير أن الغلاف الغازى جزء من البيئة الطبيعية. أما الأستاذ فيليب ليك [٥] *Lake, P., 1971* فقد درس البيئة الطبيعية فى كتابه عن الجغرافيا الطبيعية فى ثلاثة أبواب هى الغلاف الجوى (فى تسعة فصول) والبحار والمحيطات (فى ستة فصول) والأرض (فى ثمانية عشر فصلاً).

---

(1) Hidore, J.J., and Roberts, M. C., "Physical Geography", Mac Millan Publ. N. Y. (1990).

(2) Patton C. P. et al, "Physical Geograhy", Duxbury Press, 2end edi (1974).

(3) Van Riper, J.E, "Man's physical world", Mc Graw Hill, N. Y. (1962).

(4) Mc-Intyre, M. P. et al, "Physical Geography", John Wiley & sons, N. Y. (1991).

(5) Lake, P. "Physical Geography", Cambridge Univ. Press, 4th edi (1971).

فى حين درس الأستاذ فينش [١] *Finch, V.C, 1957* فى القسم الأول من كتابه مع زملائه عن «مبادئ الجغرافيا» مضمون الجغرافيا الطبيعية فى أربعة أقسام متتابعة هى عناصر المناخ، والأقاليم المناخية وأشكال سطح الأرض والموارد الأرضية. وقسم برادشو [٢] *Bradshaw, M., 1993* وزميله ويفر *Weaver, R.* فى كتابهما عن الجغرافيا الطبيعية، مجالات البيئة الطبيعية فى خمسة أجزاء متتالية (دون تقسيم أى منها الى فصول) وتتضمن دراسة أسس الجغرافيا الطبيعية والبيئة الجوية والمحيطية وبيئة قشرة الأرض وبيئة سطح الأرض وبيئة الكائنات الحية.

والكتاب الذى نقدمه اليوم للقارىء العربى يتناول الجغرافيا الطبيعية بالدراسة والتأكيد على أنها جزء لا يتجزأ من مضمون الجغرافيا وأنه ليس من الصواب فصلها أو سلخها عن بقية أفرع العلوم الجغرافية. وإن لجأ الجغرافيون الى دراسة الأقسام الرئيسية للجغرافيا كل منها على حدة (الجغرافيا الطبيعية والجغرافيا البشرية والجغرافيا الاقتصادية والجغرافيا التاريخية) فذلك من دواعى ضرورات التخصص العلمى بغية الوصول الى استنتاجات جادة لها قيمتها ودلالاتها العلمية حتى يمكن الاستعانة بها فى تفسير الظاهرات المتداخلة بين مختلف أفرع العلوم الجغرافية.

وتختلف أهداف هذا الكتاب الذى نقدمه اليوم عن أهداف العلوم الطبيعية التى يعنى كل منها بدراسة جانب محدد بذاته دون ارتباطه بغيره من الجوانب الأخرى فى البيئة الطبيعية. فدراسة النظام الفضائى فى هذا الكتاب لا يماثل دراسات علم الفلك الأكثر تخصصاً فى هذا الشأن، وذلك لأن ما تهدف إليه الدراسة فى هذا الكتاب هو إظهار العلاقات المتبادلة بين النظام

---

(1) Finch, V. C., et al, "Elements of Geography", Mc. Graw Hill, N. Y. 4th edi (1957).

(2) Bradshaw, M., and Weaver, R., "Physical Geography", Mosby, St. Louis (1993).

الفضائى وحياة الانسان على سطح الأرض (مثل حدوث كسوف الشمس وخسوف القمر وتعاقب الليل والنهار وحدوث الفصول الأربعة سنوياً ودراسة الاشعاع الشمسى وأثره على الحياة فوق سطح الأرض..) وكذلك نفس الوضع بالنسبة لدراسة بقية النظم البيئية الأخرى التى جاء ذكرها فى هذا الكتاب والتى يقصد منها إظهار العلاقات المتبادلة بين كل نظام طبيعى وآخر فى البيئة من ناحية وأثر كل ذلك على حياة الانسان وأنشطته من ناحية أخرى وذلك كله فى ضوء دراسة العلاقات المكانية للظواهر البيئية الطبيعية.

ويتألف هذا الكتاب من مقدمة تمهيدية تعرض لمفهوم الجغرافيا الطبيعية وصلتها بالعلوم الأخرى وميدانها وأهدافها وتطور الفكر فيها. ثم ينقسم الكتاب الى خمسة أبواب مترابطة ومتصلة الحلقات بحيث يعد كلا منها مكملاً للآخر. فالباب الأول يعرض لدراسة النظام الفضائى وعلاقة كوكب الأرض بالمجموعة الشمسية والنظريات المختلفة حول نشوء الكون وكوكب الأرض وذلك فى فصلين حتى يتفهم الطالب مدى ارتباط كوكب الأرض الذى نعيش عليه ببقية أجزاء الكون. أما الأبواب الأخرى من هذا الكتاب فتختص بدراسة النظم البيئية الطبيعية لكوكب الأرض نفسه، ويعالج الباب الثانى فى سبعة فصول مترابطة كلاً من الخصائص العامة لقشرة الأرض ومعادنها وصخورها والقوى التى تشكلها والكتل الأركية القديمة المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجى فيها والظاهرات التضاريسية الكبرى التى تميز سطحها. ويعرض الباب الثالث لدراسة النظام الغازى ـالجوى) الذى يحيط بكوكب الأرض وذلك فى سبعة فصول متتابعة ومترابطة تتضمن دراسة الخصائص العامة للنظام الغازى والاشعاع الشمسى وحرارة الهواء والضغط الجوى وأنواع الرياح والكتل الهوائية وعمليات الرطوبة والتبخر والنتح وحدوث التكاثف بمظاهره المختلفة والأقاليم المناخية فى العالم. ويتناول الباب الرابع بالدراسة النظام المائى فى خمسة فصول متتابعة تناقش الخصائص العامة للنظام المائى والتوزيع الجغرافى لليابس والماء والخصائص الطبيعية والكيميائية للمسطحات المائية

وحركة المياه فى البحار والمحيطات ومظاهرها المختلفة، وعرض لدراسة بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية.

والكتاب هو مقدمة مبسطة فى دراسة الجغرافيا الطبيعية يقصد منها زيادة فهم الطالب للأسس والمبادىء الرئيسة فيها ومعرفة الخصائص العامة للبيئة الطبيعية وإدراك العلاقات المترابطة بين مختلف جوانب هذه البيئة وأثرها مجتمعة على نشاط الانسان وحياته ونظم استغلاله لموارد البيئة الطبيعية. وتعين هذه الدراسة دارس الجغرافيا على استمرار متابعة تخصصه العلمى والاستزادة علماً عند دراسة جانب من جوانب البيئة الطبيعية دراسة تفصيلية متخصصة.

والله العزيز العليم أسأل التوفيق فيما أديت، والمعذرة فيما أكون قد وقعت فيه من ذلل دون قصد، وأن يجعل من جهدى المتواضع هذا عملاً ينتفع به الدارسون وطلاب الجغرافيا فى الجامعات العربية.

والحمد لله رب العالمين

المؤلف

أ. د. حسن أبو العينين

تمهيد

الجغرافيا الطبيعية

تعريفها وصلتها بالعلوم الأخرى

وميدانهـــا وأهـدافهـــا

وتطور الفكر فيها

الجغرافيا الطبيعية
تعريفها وصلتها بالعلوم الأخرى وميدانها وأهدافها
وتطور الفكر فيها

الجغرافيا الطبيعية هى أحد الدعائم الرئيسة لعلم الجغرافيا وتختص بدراسة كافة الظاهرات الطبيعية التى تتمثل فى البيئة التى يعيش فيها الانسان وليس له دخل فى نشأتها. ويحسن فى البداية الإشارة الى تعريف علم الجغرافيا وأفرعه المختلفة حتى تتضح مكانة الجغرافيا الطبيعية بالنسبة له [1].

علم الجغرافيا ومفاهيمه وأفرعه المختلفة :

منذ ظهور الانسان على سطح كوكب الأرض أخذ يتأمل ويستبصر فى الكون وعناصره، وانبهر الانسان بمكونات عناصر البيئة الطبيعية التى يعيش فيها ويقوم باستغلالها فى حياته اليومية. ومن هنا كان ميدان الجغرافيا منذ القدم حتى اليوم يتمركز فى دراسة العلاقات المتبادلة بين عناصر البيئة الطبيعية ونشاط الانسان [2]. ويؤكد علماء الجغرافيا القدامى منهم والمعاصرون بأن ميدان الجغرافيا هو دراسة الانسان وبيئته الطبيعية.

"Geography is nothing, but man and his environment"

وقد ظهر مصطلح «جغرافيا» *Geography* منذ العهد الاغريقى ويتألف من مقطعين هما *"Ge"* ومعناها الأرض و *"Grapho"* ومعناها وصف، ومن ثم يدل المصطلح على «وصف الأرض» [3]. وظل مفهوم الجغرافيا معروفاً بهذا

---

(1) Bradshaw, M., and Weaver, R., "Physical Geography", Mosby, St. Louis (1993) p. 4.

(2) Van Riper, J. E., "Mans' Physical world", Mc. Graw-Hill, C (1962), p. 7.

(3) Stamp. D. L., "A Glossary of Geographical terms", London (1961).

الشكل حتى القرن الرابع عشر الميلادى وفترة العصور الوسطى فى أوربا. غير أن الرحالة والكتاب العرب درسوا فى التراث الجغرافى الاسلامى أفرعاً متعددة للجغرافيا وأطلقوا عليها مسميات عدة، فمنهم (الفارابى وابن سينا وأخوان الصفا) من درس الظواهر الفلكية تحت مسميات «علم الهيئة» و «علم التنجيم» و «علم النجوم» و «علم أحكام النجوم» و «علم الأفلاك» و «علم الزيجات والتقاويم»، ودرس بعض منهم المظهر العام للأرض التى يعيش عليها الانسان، ومن بين أمثلة ذلك «كتاب صورة الأرض» لابن حوقل (١). وأقاليم الأرض ومسالكها وبلدانها فى كتاب «المسالك والممالك» للاصطخرى وكتاب «معجم البلدان» لياقوت الحموى و «أحسن التقاسيم فى معرفة الأقاليم» للمقدسى، ومن بينهم من درس الظواهر الطبيعية الفريدة ودوّن الأخبار غير المألوفة ومن بين أمثلة ذلك كتاب «عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات» للقزوينى، كما اهتم بعض الكتاب العرب بدراسة البحار وذلك مثل شمس الدين الدمشقى فى كتابه «نخبة الدهر فى عجائب البر والبحر» (٢).

وبعد حركة الكشوف الجغرافية منذ القرن الخامس عشر الميلادى عرف الانسان الأبعاد الواسعة الجديدة للبحار والمحيطات واليابس واهتم الجغرافيون

---

(١) أ - محمد محمود محمدين «التراث الجغرافى الاسلامى» دار العلوم - الرياض، ط ٢ (١٩٨٤) ص ٨٣.

ب - البيرونى، ابو الريحان محمد ابن احمد «مفتاح علم الهيئة» طبعة ليبزج (بدون تاريخ).

(٢) أ - ابن حوقل، ابو القاسم النصيبى «كتاب صورة الأرض» طبعة ليدن (١٩٣٨) وبيروت (١٩٦٢).

ب - الاصطخرى، ابو اسحق ابراهيم «المسالك والممالك» تحقيق محمد جابر الحسينى - القاهرة (١٩٦١).

جـ - القزوينى، زكريا بن محمد «عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات» طبعة القاهرة (١٩٦٦).

د - المقدسى، شمس الدين ابو عبد الله محمد «أحسن التقاسيم فى معرفة الأقاليم» طبعة ليدن (١٩٠٦).

بتحديد أشكال الظاهرات البيئية وتوزيعها الجغرافى ومدى أوجه الشبه والاختلاف بينها من مكان الى آخر، ومن ثم أوضح فون همبولت [١] *A. Von Humbolt* فى القرن الثامن عشر الميلادى بأن الجغرافيا الطبيعية تهتم بدراسة التوزيع المكانى لظاهرات البيئة الطبيعية وعلاقاتها المكانية وصلة بعضها بالبعض الآخر.

وخلال القرن الثامن عشر الميلادى حتى نهاية القرن التاسع عشر الميلادى اهتم الكتاب بتحديد العلاقة ومدى الترابط بين البيئة ونشاط الانسان. وظهرت المدارس الفكرية التى راح يؤكد بعضها (أمثال سمبل وراتزل وديمولان من أصحاب المدرسة الحتمية *Environmentalist*) بأن عناصر البيئة هى التى تؤثر فى أنشطة الانسان وفى حياته وطرائق معيشته وسلوكه ومسكنه وملبسه فى حين يرى أصحاب المدرسة الاحتمالية بأن الانسان هو سيد البيئة وهو الذى يؤثر فيها بأنشطته المختلفة ويشكلها فى ضوء حاجاته ومنفعته. وهناك فئة أخرى من العلماء اتخذوا موقفاً وسطاً، ورأوا بأن الانسان يؤثر فى البيئة كما يتأثر بها كذلك. وعند نهاية القرن التاسع عشر الميلادى أشار عالم البيولوجيا السويسرى هيجل [٢] *Ernest Haeckel* فى عام ١٨٦٩ الى أن الانسان يتفاعل مع عناصر البيئة مستعيناً بما اكتسبه من علم وثقافة ومعرفة وبما أحرزه من تقدم تكنولوجى، وأسس هذا العالم مبادىء علم الأيكولوجيا *Ecology* .

ومن ثم يتبين بأن الجغرافيا تتناول بالدراسة العلاقات المتبادلة بين نشاط الانسان والبيئة التى يعيش فيها. واختصت الجغرافيا بذلك على معالجة كافة

---

(1) a - James, P. E., "All possible world. A History of geographical ideas", N. Y. (1972).

b - Dickenson, R. E., "The makers of modern Geography" Routledge K. Paul, London (1969).

(2) Harshorne, R., "Perspective on the nature of geography" John Murray, London (1961).

العلوم الطبيعية والعلوم الانسانية والاجتماعية والربط بينها والاستفادة من نتائجها وتحليل العلاقات المكانية للظاهرات المختلفة والعوامل التى أثرت فى نظمها وأشكالها وتوزيعها الجغرافى [1]. ونظراً لإتساع مجال الجغرافيا وميدانها تفرع منها علوم أخرى اختص كل منها بدراسة مجال معين من مجالات الجغرافيا. ويمكن تقسيم علم الجغرافيا الى خمس مجموعات من العلوم الجغرافية تشمل الآتى :

١- الجغرافيا الطبيعية ***Physical Geography*** :

وتتضمن مجموعة من العلوم الجغرافية التى تختص بدراسة عناصر البيئة الطبيعية والتى تمثل المسرح الطبيعى الذى يعيش فيه الانسان وليس للانسان دخل فى نشأته [2]، ومن بين هذه الفئة من العلوم، علم أشكال سطح الأرض (الجيومورفولوجيا *Geomorphology*) والجغرافيا المناخية *Climatology* وجغرافية البحار والمحيطات *Oceanography* وجغرافية الموارد المائية *Hydrology*. وقد يتناول البعض دراسة النواحى الجغرافية الحيوية *Biogeography* فى البيئة مثل دراسات التربة *Pedology* وجغرافية النبات الطبيعى *Geography of natural vegetation* ودراسة جغرافية الحيوان البرى *Geography of wild Animals* على إعتبار أن هذه الظاهرات الحيوية الطبيعية جزء من البيئة الطبيعية وليس للانسان دخل فى نشأتها.

٢ - الجغرافيا البشرية ***Human Geography*** :

وتتضمن مجموعة من العلوم الجغرافية الانسانية التى تختص بدراسة النشاط البشرى فى البيئة. ومن بين هذه العلوم الجغرافية تلك التى تختص

---

(1) a - John Small and M. Witherick, "A modern Dictionary of Geography" 3rd edi Edward Arnold, (1995) p. 10.

b - D. A. Stamp, "A glossary of Geographical terms", London (1961).

(2) Larkin, R. P. & Peters, G. L.. "Biogeographical Dictionary of Geography", Greenwood Press (1993) p. 19.

بدراسة النشاط البشرى فى البيئة . ومن بين هذه العلوم الجغرافية تلك التى تختص بدراسة الأنشطة الاقتصادية للانسان فى بيئته تحت مظلة الجغرفيا الإقتصادية *Economic of Geography* (والتى تتضمن جغرافية الزراعة وجغرافية الطاقة والصناعة وجغرافية النقل والتجارة) . وعلوم أخرى تختص بدراسة السلالات البشرية *Geography of Races* وجغرافية السكان *Geography of population* وجغرافية الحضر (المدن) *Urban Geography* وتخطيط المدن، وجغرافية الأرياف *Rural Geography* . هذا الى جانب الجغرافيا الاجتماعية *Social Geography* وجغرافية الخدمات *Geography of Services* (وتتضمن جغرافية الانتخاب وجغرافية الجريمة والجغرافية الصحية وجغرافية السياحة والترويح) . كما ظهر فرع آخر من فروع الجغرافيا البشرية يختص بدراسة مدى استيعاب الانسان للمؤثرات البيئية ووعيه بها وادراكه واستجابته لها وسلوكه نحوها ويعرف هذا الفرع من العلم باسم الجغرافيا السلوكية *Behavioural Geography* (1) . وتنتمى أيضاً الجغرافيا السياسية *Political Geography* الى مجموعة الجغرافيا البشرية (شكل ١) .

٣ - الجغرافية التاريخية *Historical Geography* :

وتتضمن دراسة مجموعة من العلوم الجغرافية التى تختص بدراسة كافة النواحى الجغرافية لإقليم أو منطقة ما خلال فترات ما قبل التاريخ أو خلال الفترات التاريخية المختلفة وتتضمن دراسات الانسان وعصر البلايوستوسين وجغرافية ما قبل التاريخ *Pre-historic Geography* والجغرافيا التاريخية *Historical Geography*.

---

(1) John Small, and Witherick, M., "A modern Dictionary of Geography" 3rd edi E. Arnold, (1995) p. 19.

٤ - الجغرافيا الإقليمية *Regional Geography* :

وتتضمن دراسة كافة النواحي الجغرافية (العلاقات المكانية والخصائص الطبيعية والبشرية والاقتصادية والأهمية الجيوستراتيجية) وتطبيقاتها على المستوى العالمى (القارات) أو الإقليمى (أقاليم جغرافية) أو على مستوى الوحدات السياسية أو على أجزاء من دولة ما، وذلك بقصد إظهار الشخصية الجغرافية لها.

٥ - وسائل البحث الجغرافى :

Techniques of Geographical Research

على باحث الجغرافيا ضرورة الحصول على قاعدة بيانات متعددة ومستمدة من مصادر متنوعة ومدعومة بأدلة علمية مقبولة حتى يمكن له أن يصل الى استنتاجات قيمة واضافات جادة عند ربطه بين نتائج كافة العلوم الطبيعية والبشرية على السواء. وعلى ذلك يتميز علم الجغرافيا بحيويته وبمتابعته للتقدم العلمى والتكنولوجى الذى تحرزه كافة العلوم الطبيعية. ومن ثم تتطور الأساليب العلمية المستخدمة فى الجغرافيا مع تطور التقنيات الحديثة بغية حصول الجغرافى على معلومات مهمة وقاعدة بيانات عريضة تخدم نتائج الدراسات الجغرافية. ويمكن حصر وسائل البحث الجغرافى فى الآتى :

١ - التحليل الكارتوجرافى *Cartographic Analysis* :

ويتضمن التحليل الكمى والنظرى للخرائط الكنتورية والطبوغرافية وخرائط الطقس والمناخ والخرائط البحرية وخرائط التوزيعات الاقتصادية والبشرية، وابتكار خرائط جديدة تعالج موضوعات خاصة تهم البحث الجغرافى.

٢ - الدراسة الميدانية *Field Investigation* :

وتستعين كافة العلوم الجغرافية بهذا الأسلوب الميدانى حتى يمكن للباحث مشاهدة الظاهرات الجغرافية التى يهتم بدراستها فى الحقل.

٣ - الفحص المعملى *Laboratory Examination* :

فقد يحتاج باحث الجغرافيا الطبيعية بوجه خاص الى فحص عينات من الصخور أو التربة أو الرواسب فى المعمل وكذلك حساب نسبة الرطوبة فى التربة ونسبة المواد العضوية فيها بأجهزة خاصة فى المعمل.

٤ - التحليل الكمى *Quantitative Analysis* :

تهتم الجغرافيا المعاصرة بعرض معلوماتها بأسلوب كمى يعتمد عليه والابتعاد بقدر الامكان عن الأسلوب الوصفى (١) *Qualitative*.

٥ - تفسير الظواهر الجوية *Air-photos Interpretation* :

وهذه تساعد الباحث فى تحليل الظاهرات الجغرافية الطبيعية والبشرية على السواء من تفسير الصور الجوية استريوسكوبياً وذلك فى حالة عدم استطاعة الباحث إجراء المزيد من الدراسات الحقلية للمنطقة التى يقوم بدراستها (٢).

٦ - تحليل المرئيات الفضائية والاستشعار من بعد :

Satellite image's analysis - Remote Sensing

وهو من الأساليب العلمية الحديثة فى الجغرافيا، ويعتمد الباحث هنا على تحليل المرئيات الفضائية وتوقيع الظاهرات التضاريسية منها.

٧ - استخدام الحاسب الآلى فى الجغرافيا والخرائط الآلية :

Computer and geography - Auto maps

---

(1) a - Gregory, S., "Statistical methods and the geographer" Longman, London, (1968).

b - Fitzgerald, B. P., "Development in geographical methods" Oxford Univ. Press (1978).

(2) Jensen, J. el al, "Remote Sensing..." in Photogrammetric Engineering and Remote Sensing", vol. 52 (1986), 87 - 100.

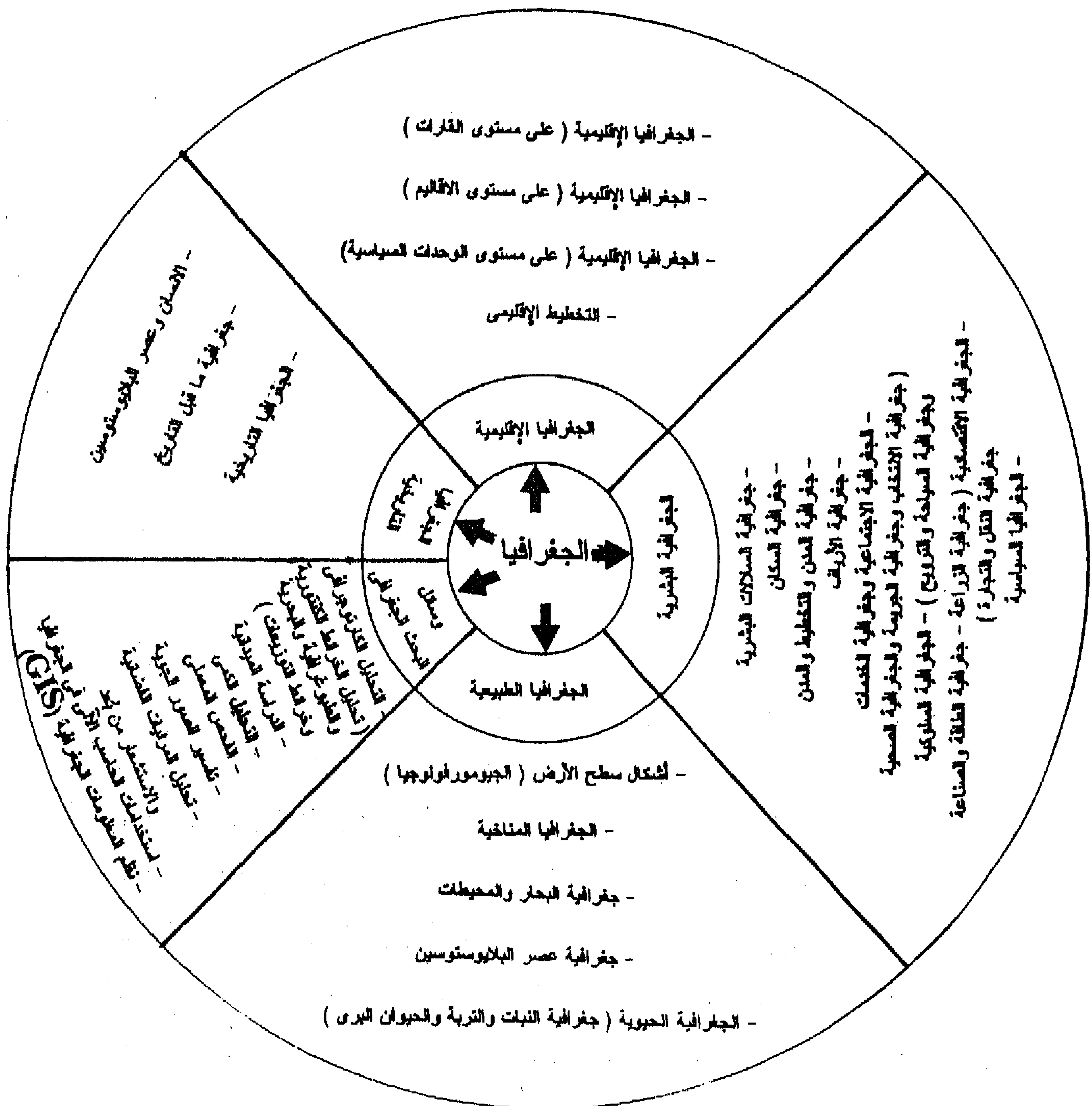
٨ - نظم المعلومات الجغرافية :

Geographical Information System

صلة الجغرافيا بالعلوم الأخرى :

ترتبط الجغرافيا ارتباطاً وثيقاً بكافة العلوم الطبيعية والعلوم الانسانية الأخرى ذلك لأن مجالها هو دراسة البيئة والانسان وإظهار العلاقات المتبادلة بينهما فى ظل التباين المكانى. ومن ثم فإن علم الجغرافيا يتميز بحيويته ومتابعته المستمرة لما يحدث فى كافة العلوم من تطور واستخدام للتقنيات الحديثة. وتختص الجغرافيا الطبيعية والحيوية *Physical and Biogeography* بدراسة الظواهر الطبيعية والحيوية فى البيئة وتوزيعها الجغرافى وإظهار علاقاتها المكانية وتحليل الخصائص العامة لهذه الظواهر وإيضاح الترابط بين ظاهرة وأخرى وأثر ذلك على المظهر العام للبيئة وعلى نشاط الانسان. ومن ثم فإن أفرع علوم الجغرافيا الطبيعية والحيوية تستمد بعض معلوماتها من نتائج ومفاهيم العلوم الطبيعية والحيوية غير أنها تعرض لها فى مفهومها الجغرافى الذى يختص أساساً بإيضاح العلاقات المكانية وربط الظواهر بعضها بالبعض الآخر لإظهار الشخصية الجغرافية للبيئة التى يعيش فيها الانسان. فالجغرافيا الفلكية *Astrogeography* تستمد معلوماتها ومفاهيمها من علم الفلك *Astronomy - Astrology* وعلم أشكال سطح الأرض *Geomorphology* يستمد بعض معلوماته ومفاهيمه من كثير من العلوم الأخرى ومن بينها الجيولوجيا الطبيعية *Physical Geology* والجيولوجيا التركيبية *Structural Geology* وعلم الصخور *Petrology* وعلم المعادن *Minerology* والخرائط الجيولوجية *Geological Mapping* وعلم مناخ البلايستوسين *Pleistocene Climate* وعلم المناخ *Climatology* وعلم التربة *Pedology* وعلم المياه *Hydrology*.

والجغرافيا المناخية تستمد هى الأخرى بعض معلوماتها من علم الأرصاد الجوية وعلم المناخ *Meteorology and climatology*.



(شكل ١) علم الجغرافيا وأقسامه وأنواعه المختلفة

وجغرافية البحار والمحيطات *Oceanography* تستمد بعض معلوماتها ومفاهيمها من علوم البحار الطبيعية *Physical Oceanography* وعلوم البحار الكيميائية *Chemical Oceanography* وعلوم البحار البيولوجية *Biological oceanography* وعلوم الرواسب البحرية *Marine Sedimentology* وعلوم الجيولوجيا البحرية *Marine Geology* هذا الى جانب الاستفادة من كافة العلوم الانسانية التى تختص بدراسة إقتصاديات البحار وطرق الملاحة البحرية، والمشاكل السياسية للمياه الإقليمية والمعابر البحرية. (راجع شكل ١ – ب).

من هنا يتضح التداخل الكبير بين أفرع العلوم الجغرافية وغيرها من العلوم الأخرى، غير أن الأولى تختص كما سبقت الإشارة من قبل بدراسة هذه العلوم من وجهة النظر الجغرافية وذلك بالاهتمام بالتوزيع الجغرافى للظواهر المختلفة وبدراسة علاقاتها المكانية وأثرها فى تشكيل المظهر العام للبيئة وعلاقاتها بنشاط الإنسان.

ونفس الحال بالنسبة لبقية مجموعات العلوم الجغرافية الأخرى. فتستمد أفرع الجغرافيا البشرية *Human Geography* بعض معلوماتها ومفاهيمها من العلوم الانسانية الأخرى. وعلى سبيل المثال يستمد علم جغرافية السكان *Geography of population* بعض معلوماته ومفاهيمه من علم الانسان *Anthropology* وعلم السكان *Demography*. والجغرافيا الاجتماعية والسلوكية *Social and Behavioural geography* تستمد بعض معلوماتها ومفاهيمها من العلوم الاجتماعية *Social Sciences* والنفسية، والجغرافيا الطبية *Medical Geography* تأخذ الكثير عن العلوم الصحية والطبية والجغرافيا السياسية *Political Geography* تتداخل هى الأخرى مع العلوم السياسية *Political Sciences*. أما الجغرافيا الاقتصادية *Economic Geography* فتستمد بعض معلوماتها ومفاهيمها من العلوم البيئية *Environmental Sciences* والعلوم الزراعية وعلوم الأراضى وعلوم


صلة الجغرافيا بالعلوم الآخرى
مجموعـــــة العـــــلوم الطبيعية والانسانية
-علم الفلك
-علم الجيولوجيا
-علم الارصاد الجوية والمناخ
-علم البحار والمحيطات
-علم البيئة
-علم المياة (الهيدرولوجيا)
-علم التربة
-علم الحيوان
-علم النبات
-علم الانسان (الانثروبولوجيا)
-علم السكان (الديموجرافيا)
-علم البيئـة
-العلوم الزراعيـــة
-علم الأراضى
-علم الاقتصـــاد
-علم الاحصـــاء
-العلوم التجارية والادارية
-العلوم الاجتماعية والنفسية
-العلوم الصحية والطبية
-العلوم الهندسية وهندسة تخطيط المدن
-علم السياسة
-علم ماقبل التاريخ (الدراسات الاركيولوجية والباليوجرافية)
-علم التـــاريخ
-علم عصر البلايستوسين
-علم المساحة
-علم الكارتوجرافيا ومساقط الخرائط (انشاء الخرائط)
-علم تفسير الخرائط وتحليلها (الكنتورية والجيولوجية والطبوغرافية والبحرية وخرائط الطقس وخرائط التوزيعات والخرائط الآلية)
-علم تفسير الصور الجوية والفوتوجيولوجيا
-علم تفسير المرئيات الفضائية والاستشعار من بعد
-علم الحاسب الآلى ونظم المعلومات
-علم الاحصاء التطبيقى
-علم الرياضيات
الجغرافيا الطبيعية والحيوية
الجغرافيـا البشرية
الجغرافيـا التاريخية
وسائل البحث العلمى
الجغرافيا الإقليمية
(الجغـــــرافيا)
التوزيع الجغرافى للظواهر الطبيعية والبشرية - التحليل المكانى والعلاقات المكانية والعلاقات المترابطة بين الظروف البيئية ونشاط الانسان- التحليل والتوزيع والربط وإظهار الشخصية الجغرافية

(شكل ١ - ب)

الاقتصاد والاحصاء والعلوم التجارية والإدارية. غير أن أفرع الجغرافيا البشرية والاقتصادية تختص بوجهة النظر الجغرافية وبالاهتمام بالتوزيع الجغرافى للظواهر وايضاح علاقاتها المكانية وأثر ذلك فى نشاط الانسان. وتعرض الجغرافيا للعلاقة بين نتائج كافة هذه العلوم الطبيعية والانسانية ومفاهيمها والترابط بينها وإظهار الشخصية الجغرافية للأمكنة المختلفة على سطح الأرض ونشاط الانسان فيها عن طريق استخدام كافة الوسائل والتقنيات الحديثة *Modern Techniques* التى تخدم أساليب البحث الجغرافى. وتسهم علوم المساحة *Surveying* وتحليل الخرائط (بأنواعها المختلفة) *Map Analysis* وتفسير الصور الجوية *Air-photograpy* والمرئيات الفضائية *Satellite images* وعلوم الحاسب الآلى *Computer Sciences* ونظم المعلومات الجغرافية *G. I. S* وعلوم الاحصاء التطبيقى *Applied Statistics* والرياضيات *Mathematics* فى تطوير أساليب البحث الجغرافى للوصول الى نتائج جادة يمكن أن تخدم العلوم الأخرى وأن تفسر تفسيراً دقيقاً العلاقات المترابطة بين كافة العلوم البيئية ونشاط الانسان.

ومن هنا كان ضرورة تخصص الجغرافى فى فرع محدد من أفرع العلوم الجغرافية ليس فقط بقصد خدمة المعرفة فى هذا الفرع العلمى بذاته ولكن أيضاً لخدمة علم الجغرافيا بعامة. فالجغرافى لا يمكن أن يتخصص فى كافة العلوم الطبيعية وفى كافة العلوم الانسانية وأن يكون ملماً بكافة أساليب البحث المختلفة، وأن يكون عالماً فوق المألوف *Super Scientist*. والجغرافيون المتخصصون فى أفرع مختلفة من العلوم الجغرافية فى مجالاتها الرئيسة (الجغرافيا الطبيعية والحيوية والجغرافيا البشرية والجغرافيا التاريخية ووسائل البحث الجغرافى) يعملون جميعاً فى سلسلة متصلة الحلقات، تربط بعضها بعضاً ويخدم كل منها الآخر. وتتجلى نتائج العلوم الجغرافية وخلاصتها هذه عند دراسة إقليم ما من سطح الأرض، دراسة جغرافية إقليمية. فالجغرافيا الإقليمية *Regional Geography* هى تطبيقات لأفرع العلوم الجغرافية كلها

فى إقليم ما، *a region* لإظهار الشخصية الجغرافية لهذا الإقليم، وذلك عن طريق الإهتمام بدراسة التوزيع الجغرافى للظواهر الطبيعية والبشرية والعناية بالتحليل المكانى وإظهار العلاقات المترابطة بين كافة الظروف البيئية ونشاط الإنسان فى هذا الإقليم.

ميدان الجغرافيا الطبيعية وأهدافها :

تختص الجغرافيا الطبيعية ـ كما سبقت الاشارة من قبل ـ بدراسة الظاهرات الطبيعية التى تشكل البيئة التى يعيش فيها الانسان وإظهار مدى التفاعل والترابط بين هذه الظاهرات وتوزيعها المكانى وذلك بقصد ايضاح أثرها المباشر وغير المباشر فى نشاط الانسان. واقترح العلماء وجهات نظر متعددة حول تحديد مفهوم الجغرافيا الطبيعية وأهدافها.

فيقول الأستاذ ولدريدج *Wooldridge (1960, p. 76)* «بأن الجغرافيا الطبيعية تعد أقوى ترسيخاً من الجغرافيا البشرية والاجتماعية ذلك لأنها تعتمد على نتائج العلوم التخصصية الطبيعية مثل الجيولوجيا والمتيورولوجيا والبيدولوجيا وهى علوم أهدافها محددة من زمن بعيد قبل تحديد أهداف الجغرافيا المعاصرة نفسها» (١) . ويوضح اشترهلر *A. N. Strahler* بأن «الجغرافيا الطبيعية هى الدراسة الوصفية لنتائج عدد من علوم الأرض التى تعطى رؤية شاملة للبيئة الطبيعية للانسان» (٢) . أما الأستاذ لايلى *Leighly, J. B., (1955)* فيقول «من الأفضل فى الظروف الراهنة أن لا نضع تحديداً مصاغاً بطريقة محددة لمفهوم الجغرافيا الطبيعية، وأنه من الأحسن أن يواجه الباحث دراسته لسطح الأرض بصورة فضولية غير مشوشة لكل ما تعنيه

---

(1) a - Wooldridge, S. W., and Morgan, R. S., "Geomorphology..." London (1960) p. 76.

b - Wooldridge S. W., and East W. G., "The spirit and Purpose of geography" London (1955) p. 36.

(2) Strahler, A. N., "Physical Geography" 4th edi John Wiley, N. Y. (1975).

المشكلات التى تختص بالدراسة» [١]. ويقول الأستاذ إنرت *F. Ahnert, (1962)* بأن مكان الجغرافيا الطبيعية يبدو غير محدد بوضوح، فهو يقف بجوار الجغرافيا البشرية وتربطه بها علاقتان سببيتان، بالإضافة الى التوجهات المشتركة للموقع والتوزيع الجغرافى والاختلافات المكانية بينهما» [٢] . أما الأستاذ ميلر *A. B. Miller (1965)* فيرى أن «المعلومات المستمدة من دراسة العوامل الطبيعية لسطح الأرض تعطى عمقاً وتعزز فهم دراسات الجغرافيا البشرية والاجتماعية والاقتصادية، وأن الجغرافيا يمكن لها بذلك أن تشارك فى استخدام التقنيات الحديثة مع غيرها من أنواع المعرفة الأخرى» [٣] .

ويعد كل من جفوزدتسكى *N. A. Gvozdetskiy* وبريبرازنسكى *V. S. Preobrazhenskiy (1971)* من أنصار المدرسة الجغرافية السوفيتية التى تؤكد على أن «الجغرافيا الطبيعية فى روسيا قد ظهرت كعلم مستقل له أهدافه ووظيفته وتركيبه الداخلى الخاص به» فهو علم يختص بدراسة اللاندسكيب الطبيعى للأرض ومكونات النظم البيئية الطبيعية ***Natural geosystems***. وان منهج المدرسة السوفيتية فى الجغرافيا الطبيعية قد تأسس بقوة بقصد التعرف على الدور الموضوعى الهادف للنظم البيئية الطبيعية. وأننا نجد أن الجغرافيا الطبيعية فى معظم البلدان فى أوربا الغربية وفى الولايات المتحدة الأمريكية، لا تزال غير مطورة ذلك لأنها تعالج على كونها موجزاً شاملاً لمجموعة معينة من العلوم الطبيعية (الجيومورفولوجيا والمناخ والبحار والمحيطات والموارد المائية) أو قد تعالج على أنها تمثل فرعاً مساعداً للجغرافيا *Auxiliary branch* يقدم خدماته للدراسات البشرية والاجتماعية والاقتصادية» .

---

(1) Strahler, A. N., "Quantitative geomorphology...." in Handbook of applied Hydrology", V. T., Chor (ed) N. Y., (1964).

(2) Gregory, K. J., "The nature of physical Geography". E. Arnold, (1989) p. 7.

(3) Harvey, D., "Explanation in Geography", E. Arnold, London (1969).

ويرى الأستاذ الجيولوجي جراى *Gray, M, (1978)* بأن «علم الجيولوجيا يضم خبراء فيه وقد أجرى معظمهم بحوثاً تطبيقية جادة لها أهميتها فى حياة الانسان، وفى رأيي - فإن الجغرافيين الطبيعيين يمكن لهم أن يلعبوا نفس الدور عند إجراء دراسات متخصصة لمشاكل علمية فى البيئة الطبيعية ترتبط نتائجها مع غيرها من العلوم الطبيعية الأخرى، ومن ثم يمكن للجغرافيا الطبيعية أن تعزز ميدان الجغرافيا وأهدافها».

أما الأستاذ أورم *A. R. Orme (1980)* فقد أوضح «بأن الجغرافيا الطبيعية تختص بدراسة الظواهر الطبيعية غير العضوية *Inorganic* فى البيئة، ومن ثم ينبغى ألا نعتبر الدراسات الحيوية (دراسات التربة والنبات الطبيعى والحيوان البرى) جزءاً منها.... أننى أرغب فى تقديم بعض النصائح لطلاب الجغرافيا الطبيعية..... كونوا مستعدين ومجهزين *be prepard* ... كونوا موحدين *be integrative* كونوا متنبئين *be predictive* وكونوا فخورين *and be proud*».

ولما كانت الجغرافيا الطبيعية تتناول بالدراسة كافة الظواهر الطبيعية البيئية ورصد خصائصها العامة وتوزيعها الجغرافى وتحليلها المكانى [(١)] والعلاقات المترابطة بين كل منها، فقد تنوعت مجالات الجغرافيا الطبيعية وتفرعت الى عدة علوم تخصصية تشمل :

- دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض.

(الجيومورفولوجيا *Geomorphology*)

- دراسة الظروف المناخية والأحوال الطقسية :

(علم المناخ وعلم الأرصاد الجوية *Climatology and Meteorology*)

- دراسة المسطحات البحرية والمحيطية

(جغرافية البحار والمحيطات *Oceanography*)

---

(١) يؤكد بعض الجغرافيين على أهمية المكان والعلاقات المكانية بالنسبة لمفهوم الجغرافيا حتى يطلق البعض على الجغرافيا اسم «علم المكان Science of space»، راجع : صفوح خير «المنهج العلمى فى البحث الجغرافى» دمشق (١٩٨٣) ص ١٥.

- دراسة الموارد المائية (علم المياه *Hydrology*)
- دراسة البيئة الطبيعية لعصر البلايوستوسين.
(الجغرافية الطبيعية لعصر البلايوستوسين *The Pleistocene Period*)
- دراسة العناصر البيئية الحيوية
(النبات الطبيعى والحيوان البرى والتربة) *Biogeography : Plant Geography, Wild Animals Geography and Pedology"*

وقد يفصل البعض هذه الدراسة الأخيرة عن الجغرافيا الطبيعية ويجعلها مستقلة بذاتها وتقع تحت مفهوم الجغرافيا الحيوية.

ولما كان محور دراسات الجغرافيا الطبيعية يرتبط بالعلوم الطبيعية البحتة *Pure Sciences*، فهنا ينبغى أن تعتمد نتائج دراسات الجغرافيا الطبيعية على أسس علمية تجريبية وكمية، والاستعانة بأساليب التقنيات الحديثة حتى يمكن لها أن تقدم استنتاجات علمية جادة لها قيمتها العلمية والتى قد تأخذ بها بعض العلوم الأخرى.

وقد يأتى هنا التساؤل من قبل البعض عن مكانة باحثى الجغرافيا الطبيعية بالنسبة لكل من الجغرافيين من ناحية وغير الجغرافيين من ناحية أخرى. والجغرافيا الطبيعية هى جزء لا يتجزأ من المفهوم العام لعلم الجغرافيا الذى يختص بدراسة العلاقات المتبادلة والترابط بين الانسان وبيئته الطبيعية. ولما كانت نتائج العلوم الانسانية وتفسيراتها لا تخضع للفحوص المعملية والتجريبية، ظهر ضرورة التخصص العلمى الدقيق لبعض الجغرافيين فى أفرع علوم الجغرافيا الطبيعية حتى يمكن لهم أن يقدموا استنتاجات علمية جادة مدعومة بأدلة علمية تخدم الدراسات الانسانية الجغرافية وعلى ذلك يتضح أن تخصص بعض الجغرافيين فى أفرع علوم الجغرافيا الطبيعية جاء من ضرورة الحاجة الى تعميق فهم الجغرافى للبيئة الطبيعية وخصائصها وأثر ذلك فى نشاط الانسان، فهى إذن لخدمة الدراسات الانسانية الجغرافية ولتعزيز مكانتها وتعميق أفكارها واستنتاجاتها. وهذا ما لا يراه الأستاذ الدكتور محمد الفرا

(١٩٨٣ ط ٤ ص ٣٠ - ٣١) حيث يقول[١] :

«نرى أن الذين يطلقون على أنفسهم جغرافيين قد انحرفوا فى بعض كتاباتهم عن الميدان الجغرافى.... وحتى وقت قريب جداً كان نفر من الذين أطلقوا على أنفسهم جغرافيين طبيعيين يدرسـون «أشياء» مثل تطور أشكال الأرض وهذا ما نطلق عليه اليوم علم أشكال الأرض «الجيومورفولوجيا». وبناء عليه فإننا نود أن نؤكد بأن «الشخص» يمكن أن تكون بدايته جغرافية ولكن قد تتغير اهتماماته ويتغير نـوع العمل الذى ينتجـه، فليس معنى هذا أن الجغرافيا قد تغيرت، ولكن الصـواب هو أن هذا «الشخص» قد تغير فى تخصصه...».

ولا يمكن أن نسلخ باحث الجيومورفولوجيا عن الجغرافيا حسب رؤية الدكتور محمد الفرا، ونعتبره باحثاً جيولوجياً، ذلك لأنه يهتم بدراسة أشكال سطح الأرض من وجهة النظر الجغرافية التى تعنى بدراسات التحليل المكانى *Spatial Analysis* للظاهرات الطبيعية وتوزيعها الجغرافى *Distribution* واتصالها وارتباطاتها المكانية فيما بينها وعلاقة كل منها بالأخرى. ودراسة البيئة الطبيعية فى ضوء التحليل العلمى التجريبى والكمى من وجهة النظر الجغرافية تخدم كافة الدراسات الانسانية الجغرافية. أما الجيولوجى فهو يختص بدراسة صخور قشرة الأرض *Petrology* والحفريات التى قد تكون ممثلة فيها *Paleontology* ومعادن الصخور وبلوراتها *Minerology and Crystalography* وفحص عينات الصخور ميكروسكوبياً، وكل هذه الأمور ليست من إهتمام الجغرافى.

ولا يمكن اعتبار الجغرافى المتخصص فى الدراسات المناخية - حسب ما يراه الدكتور محمد الفرا - قد انحرف عن الجغرافيا وأصبح «مناخياً».

---

(١) محمد على الفرا «مناهج البحث فى الجغرافيا بالوسائل الكمية» وكالة المطبوعات - الكويت ط ٤ (١٩٨٣) ص ٣٠ - ٣١.

فالدراسات المناخية من وجهة النظر الجغرافية - كما سبقت الاشارة من قبل - تخدم كل الدراسات الجغرافية الأخرى وتعمق مفاهيمها. ويختلف باحث الجغرافيا المناخية عن باحث الأرصاد الجوية ذلك لأن الأخير يوجه اهتماماته الى دراسة مختلف أجهزة الرصد الجوى وكيفية استخداماتها والتسجيل اليومى للتغيرات الطقسية، وإجراء الحسابات الكمية لحركة الهواء والرياح وتجمع البخار، وقد يستعين فى ذلك بنتائج دراسات علوم الطبيعة والكيمياء والرياضيات، ويبتعد هذا المنهج عن مجالات الجغرافيا.

وقد أدت وجهات النظر المتباينة بين الجغرافيين حول هذه الأمور الى اضعاف مكانة الجغرافيا، والسماح للعلوم الأخرى أن تبتلعها لقمة بعد لقمة. فنرى اليوم أن بعض الأقسام العلمية الجيولوجية فى بعض جامعات العالم اعتبرت أن الجيومورفولوجيا علم جيولوجى وتولت هى تدريسه بدلاً من الجغرافيين. وبالمثل فإن الجغرافيا المناخية يتولى تدريسها بعض أقسام المتيورولوجيا والطبيعة فى كليات العلوم، ودراسات الموارد المائية يتولى تدريسها بعض أقسام الهيدرولوجيا فى كليات الهندسة. ودراسات البحار والمحيطات يتولى تدريسها أقسام علوم البحار فى كليات العلوم. ومن ثم تصبح مجال دراسات البيئة الطبيعية التى تمثل المسرح الطبيعى لحياة الانسان من تخصص العلوم الطبيعية البحتة وتفقد الجغرافيا بذلك ركناً أساسياً من مضمونها ومجالاتها.

وحتى أفرع علوم الجغرافيا البشرية لم تسلم هى الأخرى من طغيان العلوم الأخرى عليها. فنجد اليوم أن الدراسات السكانية فى بعض جامعات العالم يتولى تدريسها الديموجرافيون من كليات التجارة والاجتماعيون من أقسام الاجتماع والأنثروبولوجيا. ودراسات الجغرافيا الاقتصادية يتولى تدريسها الاقتصاديون تحت اسم «الموارد الاقتصادية» وجغرافية الزراعة أصبحت هى الأخرى تقع تحت لواء الدراسات التى تقوم بها أقسام الانتاج الزراعى فى كليات الزراعة، ودراسات تخطيط المدن هى دراسات مهمة من مجال الأقسام

العلمية التى تختص بدراسة تخطيط المدن فى كليات الهندسة ـ حتى دراسات البيئة *Environment* التى هى المسرح الطبيعى للجغرافيا انتزع منها وأصبح من نصيب الأقسام العلمية فى كليات العلوم (التى يدرس كل قسم علمى فيها عناصر محددة من البيئة الطبيعية) ولا يختص القائمون بالتدريس فى كليات العلوم فى هذه الحالة بعرض الصورة الشاملة المتكاملة للبيئة الطبيعية وعلاقاتها المكانية كما هو الحال فى الأقسام العلمية الجغرافية. ومما عزز الدراسات العلمية البحتة فى هذا الشأن هو أنه عند وضع الحلول لمشكلة بيئية محددة «مثل قياس مدى تلوث الهواء أو الماء أو التربة» يصبح ذلك من تخصص الأقسام العلمية البحتة فى كليات العلوم وليس من مجالات الجغرافيا. وهكذا اشتدت أزمة الجغرافيا وانسلخت وتفتتت أركانها تدريجياً. ولكى يظهر الجغرافى دوره فى وسط هذا المحيط المتلاطم الأمواج أخذ يعمل جاهداً ليظهر قيمة الدراسات الجغرافية التى تختص بإبراز أهمية العلاقات المكانية للظاهرات البيئية وتوزيعها الجغرافى وارتباط بعضها بالبعض الآخر حتى تتميز دراسته الجغرافية بعرض للنظرة الشاملة المتكاملة وأن تتميز عن غيرها من الدراسات العلمية البحتة الأكثر تخصصاً.

غير أننا يجب أن نسجل بأن بعض العلماء الذين أسهموا فى تطور الفكر الجغرافى فى العالم، ليسوا أصلاً من خريجى الأقسام العلمية الجغرافية. وعلى سبيل المثال لا الحصر، فإن بعض علماء الألمان (مثل همبولت *Humboldt* وريتر *Ritter* وفون ريشتهوفن *Von Richthofen*) كانوا أصلاً من خريجى قسم الجيولوجيا، ويماثلهم فى ذلك بعض العلماء البريطانيين المرموقين فى الدراسات الجغرافية ومن بينهم ولدريدج *S. W. Wooldridge* الذى تخرج من قسم الجيولوجيا ـ جامعة لندن ـ وترومان *A. E. Truman* الذى تخرج من قسم الجيولوجيا ـ جامعة سوانسى، وجونز *O. T. Jones* الذى تخرج من قسم الجيولوجيا ـ جامعة كمبردج، وشارلزورث *J. K. Charlesworth* الذى تخرج من قسم الجيولوجيا ـ جامعة بلفاست، والأستاذ آلان وود *A. Wood*

الذى تخرج من قسم الجيولوجيا - جامعة إبريثوث *Aberystwth* [1]. أما عالم المناخ البريطانى أوستن ميلر *A. A. Miller* والعالم الجيومورفولوجى كيركبى *M. J. Kirkby* فكل منهما تخرج من قسم الرياضيات. ومع ذلك يرى نفر أن هذه الأمور من شأنها العمل على تقوية وتعزيز أركان الجغرافيا وليس على إضعافها، وأنه من الضرورى حدوث التداخل بين مختلف العلوم المعاصرة *Interaction*، وتكوين فرق للبحث العلمى عندما يكون هناك اهتمامات علمية متداخلة ومشتركة *Inter-disciplinary Team Works* وذلك لخدمة كافة العلوم الطبيعية والجغرافية وتطورها.

ومما قد يزيد من هذا الأمر تعقيداً أننا نرى أن بعض الأقسام العلمية الجغرافية فى كثير من جامعات العالم اليوم، تضم بين أعضائها علماء متخصصين فى الدراسات الجغرافية الطبيعية والبشرية وفى تدريس طرائق البحث الجغرافى الكمى واستخدامات الحاسب الآلى والاستشعار من بعد، وهم ليسوا أصلاً من خريجى الأقسام العلمية الجغرافية [2]. بل قد تولى بعض هؤلاء الأعضاء (غير الجغرافيين أصلاً) رئاسة بعض الأقسام العلمية الجغرافية فى كثير من جامعات العالم اليوم ولنا أن نتصور أثر ذلك فى اتجاهات الجغرافيا المعاصرة. ومن هنا ظهر قلق بعض الجغرافيين وتخوفهم على مصير الجغرافيا المعاصرة التى إنغمست فى استخدام الدراسات الكمية البحتة فى التحليل الجغرافى، والاستعانة بالتقنيات الحديثة بصورة مكثفة، ويرى هؤلاء بأن الجغرافيا بهذه الصورة قد فقدت عبيرها وروحها *its spirit* وفتحت الباب على مصراعيه لدخول «الغرباء» لإحتلال أركانها وتوجيه مسيرتها. ويذكر الأستاذ الجغرافى فتزجيرالد *Fitzgerald, B. P. (1978) p.*

---

(1) Gregory, K. J., "The nature of physical geography", Arnold (1989) p. 18.

(2) a - Johnston, R. J. "Geography and Geographers", E. Arnold, London, 3rd edi (1987).

b - Harvey, D., "Explantion in Geography", E. Arnold, London (1969).

«بأن الجغرافيا المعاصرة الى حد ما معنية باستخدام أساليب كمية ومبهمة، بل أكثر من ذلك.... إن هذه الأساليب لا تخدم إلا نفسها... وأن مطرقة ثقيلة من الأساليب الكمية تستخدم اليوم فى تحطيم البندقة الجغرافية وتهشيمها [١].

الجغرافيا الطبيعية ودراسة النظم البيئية :

تختص الجغرافيا الطبيعية بدراسة الظاهرات الطبيعية التى تتمثل فى كافة النظم البيئية المختلفة والتى تتضمن كلاً من النظام الفضائى (السماوى) والنظام الصخرى والنظام الغازى والنظام المائى. وتعنى الجغرافيا الطبيعية بدراسة التوزيع الجغرافى للظاهرات الطبيعية *Distribution* وخصائصها العامة وعلاقاتها المكانية *Spatial relationship* وأسباب حدوثها وتغير أشكالها مع الزمن والعلاقات المترابطة فيما بين هذه الظواهر الطبيعية. ومن ثم تعد الجغرافيا الطبيعية حلقة الربط *Link* بين العلوم الجغرافية وغيرها من العلوم الأخرى.

وعلى سبيل المثال تعد التربة السوداء (التشرنوذم) والتربة الرمادية البنية الواسعة الانتشار فى الغرب الأوسط بالولايات المتحدة الأمريكية من أخصب التربات الزراعية فى العالم ويماثلها فى ذلك التربات السوداء فى كل من سهول أوكرانيا والأرجنتين. وتقع هذه التربات وتكتسب خصائصها البيدولوجية فى إقليم مناخ العروض الوسطى الحار الرطب صيفاً والجاف شتاء. ومن ثم تنمو فى هذا الإقليم الحشائش صيفاً وتندثر شتاء، وبعد تحليلها تغذى التربة بالمواد العضوية. وقد أدى ذلك الى ارتفاع خصوبة التربة وزيادة انتاجية أو مرود الفدان فيها. وعلى ذلك فإن الجغرافيا الطبيعية تتناول عدة مشكلات وتعطى الصورة الشاملة لها وتعمل على ربط المعلومات والنتائج المستمدة من العلوم المختلفة ويسهم ذلك كله فى تعزيز الاستنتاجات التى

---

(1) Fitzgerald, B. P. "Development in geographical Methods", Oxford Univ. Press (1978) p. 1.

تتوصل إليها الدراسات الانسانية.

وكل ما يتمثل على سطح الأرض من ظاهرات ومسطحات مائية وما يقع فوقه من غلاف غازى أو تحته من تربة وصخور يعد جزءاً من النظم البيئية *Eco-systems* . ومن وظائف الجغرافيا الطبيعية إيضاح العلاقات المترابطة بين ظاهرة طبيعية وأخرى.

النظم البيئية الكبرى *Major Eco-Systems* :

يميز العلماء أربعة نظم بيئية كبرى على المستوى العالمى تتضمن الآتى :

أ - النظام الصخرى الذى يمثل القشرة الخارجية *outer crust* للأرض وقد يقسم الى قسمين هما الغلاف الصخرى *Solid-earth system* والغلاف التضاريسى *Surface-relief system* . وذلك تمييزاً عما يقع تحت سطح الأرض من صخور وما يتمثل فوقه من ظاهرات تضاريسية.

ب - النظام المائى ويتضمن كل أنواع المسطحات المائية من بحار ومحيطات وبحيرات وأنهار تقع على سطح كوكب الأرض.

جـ - النظام الغازى أو الجوى ويقصد به نطاق الغازات التى تقع فوق سطح الأرض وتحيط بكافة سطح كوكب الأرض. ولما كانت مساحة المسطحات المائية المحيطية أكبر بكثير من مساحة اليابس (نحو ٧١,٩٪ من مساحة سطح الكرة الأرضية) فإن بعض الكتاب يربط بين النظام الغازى والمحيطات للعلاقة الوثيقة بين كل منهما ويعرف هذا النظام فى هذه الحالة بإسم النظام الغازى المحيطى *Atmosphere-Oceanic System*.

د - النظام الحيوى *Biological (Bio-system)* ويقصد به كل الكائنات الحية من حيوانات ونباتات بل والانسان والتى تعيش فوق سطح الأرض وبعض القوارض والكائنات الدقيقة الحجم والبكتريا والأسماك التى تعيش فى التربة وفى المسطحات المائية. ويدرس كل من العلوم الطبيعية البحتة

عنصراً محدداً من عناصر كل من هذه النظم. أما الجغرافيا الطبيعية فتدرس العلاقات المتبادلة بين كل هذه العناصر مجتمعة، فمظهر البيئة الشامل لا يمكن تحديده عن طريق دراسة جانب من جوانب النظم البيئية بل بمعرفة الخصائص العامة لكل النظم البيئية مجتمعة. ومن ثم فإن النظرة الشمولية وتحديد العلاقات المترابطة بين كافة العلوم الطبيعية والربط بين نتائجها هي الوظيفة المهمة لدراسات الجغرافيا الطبيعية.

وقد درس الأستاذ برادشو *M. Bradshaw (1993) p. 7* العلاقات المترابطة بين النظم البيئية الرئيسة والعوامل الكبرى التي تتمثل فيها وتؤثر في تشكيل خصائصها وتصنيفها الى أقسام ثانوية ومدى علاقتها بالنشاط البشرى والتغيرات التي قد تحدث لكل من هذه النظم مع الزمن [١] :

(1) Bradshaw, M. & R. Weaver, "Physical Geography" Mosby, St. Louis (1993) p. 8.

النظم البيئية الرئيسة	النظام الغازى / المحيطى	النظام الصخرى	النظام التضاريسى	النظام الحيوى
العوامل	الاشعاع الشمسى ← حرارة الهواء ← الضغط الجوى ← الرياح ← التكاثف وسقوط الأمطار ← المسطحات المائية وحركة المياه	دوران الأرض المحورى والانتقالى ← تجمع المعادن الثقيلة والمواد المشعة فى مركز الأرض ← الحرارة الجوفية ← التيارات الحرارية الساخنة ← تمعج قشرة الأرض بالحركات الموجبة والسالبة	عوامل خارجية : التجوية فعل عوامل التعرية بالاضافة الى العوامل الداخلية ← تشكيل ظاهرات تضاريسية مختلفة	التغذية النمو والتكاثر الحركة والانتشار وكلها معتمدة على الطاقة الشمسية والمياه وتوفر الغذاء
الأقسام الثانوية	رأسياً : تكوين طبقات متباينة من النظام الغازى على ارتفاعات مختلفة أفقياً : تتباين الخصائص الطبيعية أفقياً وتؤثر فى النظم المناخية	رأسياً تتألف الكرة الأرضية من طبقات متباينة حسب اختلاف كثافتها. أفقياً : تتباين مناسيب النظام الصخرى بحيث تتكون البحار والمحيطات فى المقعرات	تتنوع الظاهرات التضاريسية من موقع الى آخر (جبال - هضاب - سهول...) وتتنوع الأقاليم التضاريسية من إقليم الى آخر	نظم بيئية حيوية متباينة : الغابات الاستوائية الدائمة الخضرة وحيواناتها الغابات المدارية النفضية وحيواناتها الحشائش المدارية الخشنة

النظم البيئية الرئيسة	النظام الغازى / المحيطى	النظام الصخرى	النظام التضاريسى	النظام الحيوى
		المنخفضة والقارات تمثل النتوءات المرتفعة		وحيواناتها الشوكيات الجافة وحيواناتها الغابات المعتدلة الدائمة الخضرة الغابات المعتدلة النفضية وحيواناتها الغابات المخروطية وحيواناتها التندرا وحيواناتها
التدخل البشرى	تدخل متزايد	تدخل محدود	تدخل كبير فى بعض الأقسام منه	تدخل كبير جداً فى كل أقسام هذا النظام
نوع التغير مع الزمن	حدوث دورات مناخية ثانوية ورئيسة كبرى	حدوث حركات تكتونية فجائية سريعة (زلازل وبراكين) وبطيئة (حركات الطى وتحرك القارات)	إعادة نمو الدورات التحاتية للأنهار مع تغير مستوى سطح البحر. تؤثر الظروف المناخية ونشاط الانسان فى تشكيل مظهر السطح	تغيرات فى القطاعات النباتية مع حدوث دورات مناخية تغيرات بسبب عوامل وراثية وبيئية تغيرات بفعل تدخل الانسان

ومن تحليل الجدول السابق استنتج ڤان ريبير[١] *Van Riper, J.E., (1962) p. 3* عدة مفاهيم أساسية فى شأن النظم البيئية وظاهراتها المختلفة يمكن أن نوجزها فى الآتى :

١ - أن العوامل والقوى التى تؤثر فى تشكيل النظم البيئية المختلفة اليوم هى نفسها التى كانت تشكله خلال العصور الجيولوجية السابقة ولكن بدرجات يتفاوت أثرها من عصر الى آخر.

٢ - نتيجة لتعدد العوامل التى تشكل النظم البيئية فإن ظاهراتها تتميز بتنوعها وتغير أشكالها من فترة الى أخرى. ومن ثم فإن الاختلافات فى أشكال الظاهرات الطبيعية تعد اختلافات لا نهائية *Infinit differences* حتى أنه يمكن القول بأنه لا توجد ظاهرتان أو منطقتان على سطح الأرض متشابهتان تماماً *"No two formes in nature and no two areas on the earth surface are exactly alike"*

٣ - أكد ڤان ريبر *Van Riper* بأن التغير أو الانتقال من إقليم الى آخر داخل النظام البيئى الواحد لا يكون بصورة فجائية، بل يحدث بصورة تدريجية عبر مناطق انتقالية *transitional zones* .

٤ - يؤكد هذا الباحث كذلك على مفهوم التغير المستمر للخصائص المكانية لأى من النظم البيئية مع الزمن. وعلى ذلك يرى بأن المظهر البيئى الثابت لا وجود له فى البيئة بل أن كل شىء فى تغير مستمر وأن مدى التغير ودرجته تختلف من ظاهرة الى أخرى ومن زمن الى آخر ومن مكان الى آخر.

٥ - أشار ڤان ريبر الى مفهوم التوازن النسبى بين عناصر البيئة *relative equilibrium* ، وعلى الرغم من التغير الذى يحدث باستمرار فى كل

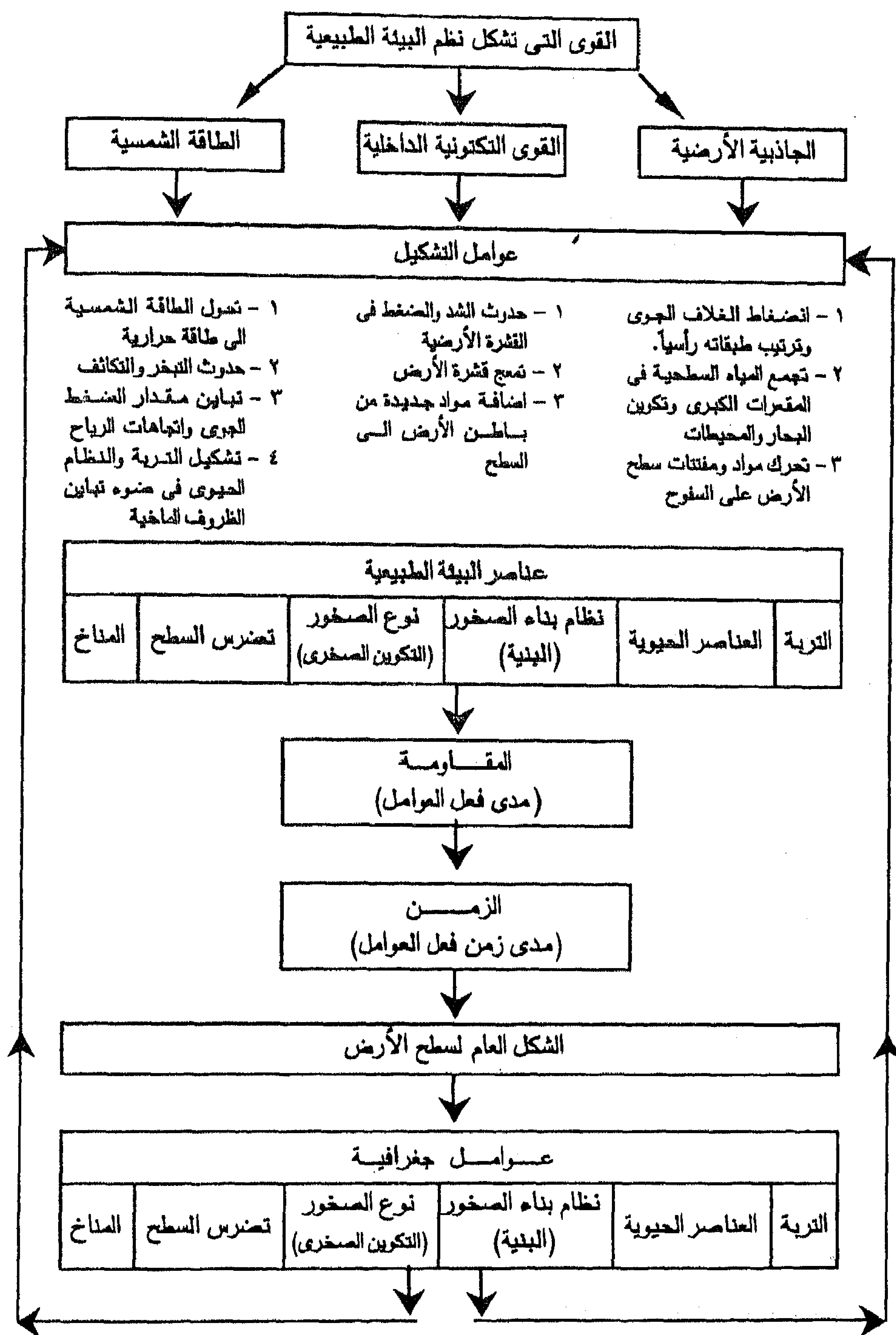
---

(1) J. E., Van Riper "Man's physical World", Mc. Garw Hill Book Company (1962) p. 7.

عناصر البيئة إلا أن هناك فترات من الاستقرار النسبى التى قد تفسح المجال لحدوث توازن نسبى بين كل ظاهرة وأخرى فى النظام البيئى. كما أن كل ظاهرة فى أى من النظم البيئية تتفاعل وتتوازن مع غيرها من الظواهر البيئية الأخرى:

ويوضح البيان التالى القوى التى تشكل النظم البيئية لسطح الأرض حسب دراسات باتون *C. P. Patton (1974) p. 4* [1].

(1) C. P. Patton, & C. S. Alexander & F. L. Kramer "Physical Geography" Duxbury Press, Massachusetts, 2nd edi (1974) p. 4.


القوى التى تشكل نظم البيئة الطبيعية
الجاذبية الأرضية
القوى التكتونية الداخلية
الطاقة الشمسية
عوامل التشكيل
١ - انضغاط الغلاف الجوى وترتيب طبقاته رأسياً.
٢ - تجمع المياه السطحية فى المقعرات الكبرى وتكوين البحار والمحيطات
٣ - تحرك مواد ومفتتات سطح الأرض على السفوح
١ - حدوث الشد والضغط فى القشرة الأرضية
٢ - تمعج قشرة الأرض
٣ - اضافة مواد جديدة من باطن الأرض الى السطح
١ - تحول الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية
٢ - حدوث التبخر والتكاثف
٣ - تباين مقدار الضغط الجوى واتجاهات الرياح
٤ - تشكيل التربة والنظام الحيوى فى ضوء تباين الظروف المناخية
عناصر البيئة الطبيعية
التربة
العناصر الحيوية
نظام بناء الصخور (البنية)
نوع الصخور (التكوين الصخرى)
تضرس السطح
المناخ
المقاومة (مدى فعل العوامل)
الزمن (مدى زمن فعل العوامل)
الشكل العام لسطح الأرض
عوامل جغرافية
التربة
العناصر الحيوية
نظام بناء الصخور (البنية)
نوع الصخور (التكوين الصخرى)
تضرس السطح
المناخ

تطور الفكر فى مفاهيم الجغرافيا الطبيعية واتجاهاتها

منذ ظهور الانسان على سطح الأرض أخذ يفكر فى أسباب تنوع ظاهرات البيئة الطبيعية التى يعيش فيها. وبذل الانسان جهداً فى محاولة وصفها ومعرفة نشأتها وأن يرسم ما يشاهده فى البيئة الطبيعية من جبال وهضاب وسهول وأنهار وأن يوقعها على خرائط تصورية. ومن بين أقدم هذه الخرائط تلك التى رسمها الانسان على ألواح من الطين لتوقيع مساحات الأراضى الزراعية أيام الحضارتين السومرية والبابلية القديمتين، وتعود أقدم هذه الخرائط الى عام ٢٠٤٠ ق.م. ورسم البابليون العالم على لوحة من الطين فى القرن الرابع والعشرين ق. م. وظهرت الأرض على هيئة دائرة يحيط بها المحيط السماوى من كل الاتجاهات. كما رسم الفراعنة خرائط توضح مواقع مناجم الذهب (تعود الى عام ١٣٣٠ ق.م.) وأخرى توضح أبعاد الأراضى الزراعية والطرق البرية التى سلكتها الجيوش الفرعونية عند فتحها أراضى الشام. وعلى الرغم من الرحلات البحرية التى قام بها الفراعنة عبر البحر الأحمر فى طريقهم الى بلاد بونت (الصومال حالياً) وعبر البحر الأبيض فى طريقهم الى بلاد الشام، فإن عدد الخرائط الفرعونية التى عثر عليها محدود جداً ذلك لأنها كانت مرسومة على أوراق البردى. واهتم الصينيون بتوقيع العالم والأراضى الزراعية وأبعادها على خرائط تعود الى عام ٢٢٧ ق.م. وتشكل مفهوم البيئة الطبيعية وأبعاد العالم فى فترات ما قبل التاريخ بتخيل الرسامين وتصوراتهم.

مفاهيم الجغرافية الطبيعية خلال الفترة الأغريقية - الرومانية :

وضع الفلاسفة الاغريق أساس بناء الفكر العلمى لمختلف الظاهرات الطبيعية فى البيئة واهتموا بدراسة النظام الفضائى أو السماوى *Outer Space*

System واقترح علماء الاغريق عدداً من النظريات الفلسفية حول نشأة الكون وعلاقة الأرض بالمجموعة الشمسية وذلك منذ القرن الخامس قبل الميلاد. وظهرت أفكار المدرسة المادية الطبيعية التى اعتقد أصحابها بأنه لا يخلق من العدم وجود. فاعتبر طاليس (من المدرسة الأيونية الطبيعية) ان المادة الأصلية التى تكون منها الكون هى الماء، فى حين رأى انكسيمانس أنها الهواء واعتقد هيراقليطس بأنها النار، بينما نادى ابنادوقليس بنظرية العناصر الأربعة (النار والهواء والماء والتراب السماوى) فى تكوين الكون وتطور نشأته [١].

وركز فيثاغورس على مظاهر التناسب والنظام المتداخل المشترك بين كافة عناصر الكون والبيئة الطبيعية. فى حين أشار انكساغوراس الى وجود قوة عاقلة حكيمة فى الكون أطلق عليها «العقل» تخترق جميع الموجودات وتؤلف بين عناصر الكون المتعددة أو تفرق بينها. وحكم سقراط «العقل» فى أفعال الانسان وسلوكياته، ونادى بأن «الفضيلة» علم، وبشعار «أعرف نفسك بنفسك» وكان يتحاور مع تلاميذه بطريقة الاستقراء. أما أرسطو فقد فسر قوانين الحركة فى كل أجزاء الكون عن طريق ما أسماه بقانون «القوة والفعل» فكل كائن حى، حياته بالفعل ولكنه ميت أو فان بالقوة.

وعنى بعض الكتاب الأغريق بدراسة عناصر البيئة الطبيعية لسطح الأرض. فدرس هيرودوت (٤٨٥ – ٤٢٥ ق.م) أبو التاريخ، نشأة دلتا نهر النيل وهو صاحب مقولة «مصر هبة النيل» ودرس المدرجات البحرية على طول الساحل الشمالى الغربى لمصر القديمة، وعرف تغير مستوى سطح الأرض على مر العصور، وأشار الى أسباب حدوث الزلازل فى بلاد الأغريق.

---

(١) أ– حسن أبو العينين «كوكب الأرض» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - ط ١١ (١٩٩٦) ص٩٧.

ب – حسن ابو العينين «من الاعجاز العلمى فى القرآن الكريم - مع آيات الله فى السماء» مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٦).

جـ – حسن ابو العينين «من الاعجاز العلمى فى القرآن الكريم - مع آيات الله فى الأرض» مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٦).

واهتم أرسطو بدراسة أسباب تدفق المياه الجوفية وظهورها على سطح الأرض وتكوين الينابيع، كما صنف أنواع الرواسب الفيضية النهرية وميز بين الرواسب الخشنة الحبيبات فى أعالى الأنهار وتلك الناعمة فى القسم الأسفل منها. وأشار استرابو الى كيفية تكوين الجبال والدلتاوات وحدوث البراكين، فى حين سجل كلاديوس بطليموس موسوعته الجغرافية فى سبعة أجزاء يصف فيها سطح العالم الذى كان معروفاً حتى القرن الرابع قبل الميلاد [١].

وفيما يتعلق بدراسة النظام الغازى اعتبر الاغريق أن الاله بورياس *Boreas* هو المسئول عن هبوب الرياح الشمالية، وان الاله بلوفيوس *Pluvius* هو إله المطر (وكذلك عند الرومان) وثور *Thor* هو اله الرعد. وفى القرن الخامس قبل الميلاد اقترح بارمنيدس *Parmenides* تقسيم سطح الأرض الى خمسة أقاليم مناخية *Climatic regions* رئيسة تبدأ من خط الاستواء وتنتهى عند القطب الشمالى. فى حين اهتم هيبوقراط *Hippocrates* بتحديد العلاقات المترابطة بين الظروف المناخية ونوع الأمراض المتوطنة وصحة الانسان، ومن ثم وضع هذا العالم منذ القدم أساسيات علم المناخ الطبى *Medical Climatology* فى كتابه المعروف باسم «الهواء والمياه والأماكن» وكان ذلك فى عام ٤٠٠ ق. م.[٢].

وقد كان لفتوحات الاسكندر الأكبر (٣٢٩ – ٣٢٥ ق.م.) فى شرقى البحر المتوسط أثره الواضح فى اتساع الفكر الاغريقى عن البحار والمحيطات. وظهرت فى هذه الفترة من الزمن خرائط تصورية تعبر تعبيراً جيداً عن أبعاد اليابس والماء التى كانت معروفة فى العالم القديم ابان هذا الوقت. ومن بين أمثلة ذلك خريطة العالم لانكسمندر *Anaximander* (٦١١ – ٥٤٧ ق.م.)

(١) حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - ط ١١ (١٩٩٥) ص٣٢.

(٢) حسن ابو العينين «أصول الجغرافيا المناخية» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - ط ٧ (١٩٩٦) ص٢٢.

وخرائط هيكاتيوس *Hecataeus* (٥٥٠ ق.م.). كما درس بعض الفلاسفة والعلماء والاغريق الخصائص الطبيعية والبيولوجية لمياه البحار والمحيطات. فأشار أرسطو الى التركيب الفسيولوجى للكائنات البحرية وهو يعتبر أول من صنف الكائنات البحرية الى مجموعتى الفقريات واللافقريات، وأكد أرسطو كذلك بأن حيوانات الدرفيل *Poises* والحيتان هى ثدييات بحرية. وعنى إيراتوسطين *Eratosthenes* بحساب طول محيط الكرة الأرضية ورسم دوائر العرض على الخرائط وحساب المسافات بين المواقع (١).

مفاهيم الجغرافيا الطبيعية خلال فترة العصور الوسطى :

خلال هذه الفترة المظلمة حضارياً فى أوربا والتى امتدت من نهاية العصر الرومانى حتى بداية القرن الخامس عشر الميلادى، ظلت الخرافات تهيمن على الفكر الانسانى وتعرقل من تقدم العلوم وتطورها، ولم يسمح رجال الكنيسة قيام العلماء بدورهم العلمى. وقد كان يعتقد فى ذلك الوقت بأن الأرض تتوسط المجموعة الشمسية وأن الكواكب التى تقع على يمينها تكون شديدة الحرارة وتلك على يسارها تكون شديدة البرودة. وخلال هذه الفترة من الزمن كان العالم القديم يتركز حول حوض البحر المتوسط، وكان يظن أن من يخرج من هذا البحر متجهاً الى البحر المحيط ستغوص سفينته فى الأعماق. وهكذا تركزت الطرق الملاحية فى حوض البحر المتوسط ورسم الجغرافيون لها خرائط ملاحية *"Portlano Charts"*.

التراث الجغرافى الإسلامى وتطور المعرفة فى الجغرافيا الطبيعية :

بفضل تعاليم القرآن الكريم ورحلات الكتاب العرب أيام العهد الاسلامى وترجمة أعمال الاغريق الى اللغتين السريالية والعربية ازدهر الفكر العربى واتسعت دائرة معرفتهم بأراضى العالم. وتتضمن مخطوطات وكتب الرحالة

---

(١) حسن ابو العينين ،جغرافية البحار والمحيطات، مؤسسة الثقافة الجامعية ـ الاسكندرية ـ ط٩ (١٩٩٦).

العرب القديمة وصفاً دقيقاً لأشكال سطح الأرض وخاصة فى البلدان التى تقع فى حوض البحر المتوسط وشبه الجزيرة العربية وبلاد الهند والصين وأواسط آسيا. وبرع الكتاب العرب فى وصف الصحراء وأشكال الكثبان الرملية والتلال فيها.

ودرس العالم ابن سينا (٩٨٠ - ١٠٣٧ م) السلاسل الجبلية وميز بين مجموعة الجبال التى تنشأ بفعل الحركات الباطنية للأرض وتلك التى تتكون بفعل عوامل التعرية. وأشار ابن خلدون فى مقدمته الى ثقل الأرض الذى يحفظ لها توازنها ويسبب جاذبيتها وثبات كل ما يقع على سطحها. وتناول الخوارزمى وسهراب وابن حوقل والمقدسي بالدراسة كلا من صورة الأرض وأقاليمها وجبالها وسهولها. فى حين أشار كل من البيرونى والمسعودى الى أثر تغير مستوى سطح البحر في تشكيل مساحات اليابس والبحار على مر العصور المختلفة. وأشار المسعودى الى دورة المجارى النهرية، وأوضح بأنها تمر فى دورة حيوية تمتد من مراحل الطفولة الى الشباب ثم الى الشيخوخة قبل أن يعلن وليم موريس دافيز نظريته عن الدورة التحاتية فى عام ١٨٩٩. وقد اهتم الكرخى ومجموعة علماء إخوان الصفا وخلان الوفاء بدراسة المياه الجوفية وكيفية ظهور الينابيع على سطح الأرض. وناقش القزوينى أثر فعل عوامل التجوية الطبيعية فى تفتيت صخور الجبال كما أشار الى أسباب حدوث الزلازل والبراكين وان كانت نتائج هذه الدراسة لا تختلف كثيراً عنها أيام الاغريق [١].

وفيما يتعلق بدراسة النظام الغازى أو الجوى، فقد ميز الكتاب العرب أكثر

(١) أ - محمد محمود الصياد «الفكر الجغرافى العربى وتطوره» مجلة الثقافة العربية - المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، (١٩٧٥).

ب - محمد محمود الصياد «منهج العلماء المسلمين فى البحث الجغرافى» المؤتمر الاسلامى الأول - جامعة الامام محمد بن سعود الاسلامية - الرياض (١٩٧٩).

جـ - نفيس أحمد «جهود المسلمين فى الجغرافيا» ترجمة محمد عثمان - القاهرة (بدون تاريخ).

من مائة وخمسين نوعاً للسحب، وأشاروا الى أربعة وثمانين اسماً لأنواع المطر. واهتم الاصطخرى بدراسة الأقاليم المناخية وقسم بلاد فارس إلى إقليمين مناخيين أحدهما بارد «الصرود» والآخر حار «الجروم». وعنى المسعودى بدراسة العوامل التى تؤثر فى تنوع الأقاليم المناخية على سطح الأرض. وقسم اخوان الصفا النظام الغازى رأسياً الى عدة طبقات كما ميزوا بين الهواء «حالة السكون» وبين الرياح «حالة الحركة». وفسر اخوان الصفا ظاهرة البرق والرعد ويقولون في ذلك «أما البرق والرعد فإنهما يحدثان في وقت واحد، ولكن البرق يسبق الابصار قبل الصوت الى المسامع لأن أحدهما روحانى الصورة وهو الضوء والآخر جسمانى وهو الصوت». وشرح القزوينى كذلك الدورة المائية (الهيدرولوجية) وكيفية استحالة مياه البحر الى بخار ثم صعوده الى أعلى فى طبقات الجو العليا وتكاثفه وتكوين السحب ثم سقوطه على شكل أمطار تعود مرة أخرى الى البحار. وأشار ابن خلدون فى مقدمته الى حركة الشمس الظاهرية وتعامدها على خط الاستواء خلال فصلى الربيع والخريف (الاعتدالين) وعلى مدار السرطان فى فصل الصيف الشمالى وعلى مدار الجدى فى فصل الصيف الجنوبى (الانقلابين).

وقد أولى الكتاب العرب عنايتهم لدراسة النظام المائى ومعرفة أبعاد المسطحات المائية وتوزيعها الجغرافى لخدمة الملاحة البحرية وظهر ذلك فى كتابات المقدسى فى عام ١٢٨٩ م. وفى دراسات ياقوت الحموى، وشمس الدين الدمشقى.

وعنى الكتاب العرب فى التراث الجغرافى الاسلامى بإيضاح العلاقة المترابطة بين مواسم هبوب الرياح القوية ونشوء الأمواج العالية وعلاقة ذلك بمواسم الإبحار. ونجد كتابات قيمة فى هذا الشأن مدونة فى دراسات ابن جبير فى كتابه «رحلة ابن جبير»، وعند ابن الفقيه فى كتابه «مختصر كتاب البلدان»، كما أشار الكتاب العرب الى حدوث عملية المد والجزر وأسباب ملوحة مياه البحار، ومجموعات الكائنات الحية التى تعيش فى البحار، وميزوا بينها

وبين تلك التى تعيش فى مياه الأنهار، وكتب شمس الدين الدمشقى عن الثدييات البحرية [١].

الكشوف الجغرافية ودورها فى تطور المعرفة بالجغرافيا الطبيعية :

ازدهرت العلوم الفلكية والطبيعية والملاحية والرياضيات فى أوربا من جديد وزادت المعرفة بالتوزيع الجغرافى لليابس والماء بعد حركة الكشوف الجغرافية فى القرن الخامس عشر الميلادى. وقد استطاع البرتغاليون بفضل رحلات الأمير هنرى الملاح فى عام ١٤١٥ م، ومالفنتى فى عام ١٤٤٦ م وبارثلميوديياز فى عام ١٤٨٧ م وفاسكودى جاما فى عام ١٤٩٦ م من اكتشاف السواحل الغربية لأفريقيا وطريق رأس الرجاء الصالح والوصول الى شبه القارة الهندية عبر المحيط الهندى. وأسهم الأسبان كذلك فى الكشف عن جزر الهند الغربية وأراضى العالم الجديد فى الأمريكتين وذلك عن طريق رحلات كريستوفر كولمبس (١٤٩٢ - ١٥٠٤ م) وستيفن جومز وكبرال، وماجلان فى عام ١٥١٩ م، الذى اكتشف الطريق الملاحى الممتد من جزيرة تيرادلفويجو (عند الرأس الجنوبى لأمريكا الجنوبية - مضيق ماجلان) عبر المحيط الهادى ووصل الى جزر الفلبين فى عام ١٥٢١ م [٢]. ومنذ بداية القرن السابع عشر اهتم المغامرون والقباطنة بكشف المسطحات المائية القطبية وكان من بين أظهر الرحلات البحرية تلك التى قام بها نانسن وبيرى وشاكلتون وجيمس كوك الذى اكتشف بدوره القارة القطبية الجنوبية (١٧٦٩ - ١٧٧٢ م).

وكان من نتائج الكشوف الجغرافية زيادة أطوال المسافات بين القارة الأوربية والعالم الجديد، ووصول موارد جديدة الى القارة الأوربية وتوالى عمليات الابتكار والاختراع والكشف عن أدوات وأجهزة تسهل عمليات القياس

---

(١) حسن ابو العينين «جغرافية البحار والمحيطات» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية ط ٩ (١٩٩٦) ص ٣٤.

(٢) المرجع السابق (١٩٩٦) ص ٦٤.

والانتقال والابحار. وقد نجح جاليليو *Galileo* في اكتشاف المنظار الفلكي المكبر والترمومتر الحراري في عام ١٥٩٣، واستطاع تورشيلي في صناعة البارومتر الزئبقي في عام ١٦٤٣ م في حين تمكن عالم الفلك البريطاني ادموند هالي *E. Halley* من إعداد الخرائط المناخية في عام ١٦٦٤ م واخترع جون ليننج *J. Lining* الترمومتر الفرنهيتي في عام ١٧٣٨ وبعدها بدأت محطات الأرصاد الجوية في الانتشار في معظم الدول الأوربية وفي العالم الجديد. وفي عام ١٨٠٠ م بلغت محطات الرصد الجوى في أوربا ١٢ محطة وفي الولايات المتحدة الأمريكية خمس محطات فقط (١).

أما عن الدراسات التي تتعلق بتضاريس سطح الأرض فكانت لا تزال متأثرة بالمنهج الوصفي، وكتب كل من ليوناردو دافينشي (١٤٥٢ - ١٥١٩ م) ونيكولاستينو (١٦٣٨ - ١٦٨٧ م) وبيفو (١٧٠٧ - ١٧٨٨ م) وتوزتشي (١٧١٢ - ١٧٨٤ م) عن الخصائص المميزة للأحواض النهرية، في حين عنى العالم الفرنسي جيتار *Guttard* (١٧١٥ - ١٧٨٦) بدراسة الحافات الصخرية والهضاب البركانية، ودرس دسماريه *Desmarest* (١٧٢٥ - ١٨١٥ م) الدورة التحاتية للمجاري النهرية، في حين اهتم العالم السويسري دى سوسير *De Saussure* (١٧٤٠ - ١٧٩٩ م) بدراسة صخور قشرة الأرض، وهو أول من استخدم مصطلح «جيولوجيا *Geology*» (٢).

---

(١) حسن ابو العينين «أصول الجغرافيا المناخية» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية ط ٧ (١٩٩٦) ص ٢٩.

(٢) أ - حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية ط ١١ (١٩٩٥) ص ٤٠.

ب - حسن ابو العينين «الأساليب العلمية في الدراسات الجيومورفولوجية المعاصرة واتجاهاتها» ندوة الاتجاهات الحديثة في علم الجغرافيا - جامعة الاسكندرية (٢٧ - ٢٩ نوفمبر ١٩٩٥).

مفاهيم الجغرافيا الطبيعية خلال الفترة من القرن الثامن عشر حتى بداية القرن العشرين :

خطت العلوم الفلكية خطوات سريعة الى الأمام بعد ظهور نظرية العالم نيوتن (١٦٤٣ – ١٧٢٧ م) وقانونه المشهور عن الجاذبية بين الكواكب والأجسام المختلفة فى الفضاء فى ضوء اكتشافه العلاقة بين كثافة الأجسام وطول المسافة الفاصلة بينها. وفى عام ١٧٥٥ م ظهرت نظرية ايمانويل كانت *I. Kant* التى أوضحت بأن المجموعة الشمسية كانت تتركب أصلاً من جزيئات صغيرة صلبة معتمة وتسبح بسرعة هائلة فى الفضاء ونتيجة لاصطدامها واحتكاك أجسامها بعضها بالبعض الآخر تولدت حرارة شديدة عملت على صهر هذه الأجسام وتكوين السديم الذى أخذ يبرد بدوره ويتجزأ الى كتل صغيرة أدت الى تكوين أفراد المجموعة الشمسية. وأكد العالم الفرنسى لابلاس *P. S. de Laplace* فى عام ١٧٩٦ م بأن المجموعة الشمسية كانت تتركب أصلاً من سديم غازى متوهج. واقترح العالمان توماس شمبرلين وفورست مولتن *T. C. Chamberlin and F. F. Moulton* فى عام ١٩٠٥ م بأن المجموعة الشمسية انفصلت عن الشمس نتيجة لمرور نجم هائل الحجم بالقرب من مدار الشمس الأولية وأدى ذلك الى انبعاج جزء من جسم الشمس وتعرضه للبرودة التدريجية ثم انفصل عنها وتكونت منه أفراد المجموعة الشمسية. وعدل العالمان هارولد جيفريز وجيمس جينز *H. Jefferys and J. Jeans* فى عام ١٩٢٩ فى هذه النظرية واقترحا بأن عملية الجذب بين النجم الهائل الكبير الحجم وجسم الشمس الأولية اقتصرت على جذب الغلاف الغازى الشمسى وانفصل عنها على شكل لسان غازى ساخن، وبعد تعرضه لعمليات البرودة والتقلص والانكماش تكونت منه أفراد المجموعة الشمسية (١).

---

(١) أ – حسن ابو العينين «كوكب الأرض» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية ط ١١ (١٩٩٦) ٩٧ - ١٢١.

ب – حسن ابو العينين «من الاعجاز العلمى فى القرآن الكريم - مع آيات الله فى السماء» مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٦) ص ٢١٩ – ٢٥٢.

وخلال النصف الأول من القرن العشرين ظهرت عشرات من النظريات حاولت كل منها جاهدة تفسير نشأة الأرض والمجموعة الشمسية على أسس علمية وفى ضوء المشاهدات الفلكية الحديثة. ومن بين هذه النظريات تلك المعروفة باسم نظرية الشمس التوأمية *The Binary Star Theory* الذى اقترحها راسيل *H. N. Russel* فى عام ١٩٢٥ م وأكدها من بعده كل من ليتلتون *Lyttleton* فى عام ١٩٣٦ وروس جن *Ross Gunn* وبنارجى *A. C. Benerji*، ونظرية السحب السديمية *The Nebular Cloud Theory* التى اقترحها فون ڤايسكر *V. Weizsacker* فى عام ١٩٤٤ م ونظرية ميلاد النجوم الجديدة *The Nova Theory* التى رجحها هويل *G. Hoyle* فى عام ١٩٤٦، ونظرية الانشطار والانفجار النووى للنجوم ورجحها العالم الفلكى البلجيكى لامتر *G. Lemaitre* فى عام ١٩٣١ م، وأكدها من بعده العالم الفلكى الروسى جورج جامو *G. Gamow* فى عام ١٩٤٦ م[1].

وفى مجال دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض تناول العلماء خلال هذه الفترة الزمنية بالدراسة تكوين المجارى النهرية وكيفية تآكل الحافات الجبلية وتراجعها الخلفى معتمدين فى ذلك على المشاهدات الحقلية وعرض لأدلة علمية تعزز الاستنتاجات والافتراضات المقترحة. ويعد العالم جيمس هاطون الاسكتلندى *J. Hutton* (١٧٢٦ - ١٧٩٦ م) هو مؤسس علم الجيولوجيا، وهو الذى اكتشف كيفية تكوين الصخور النارية الجوفية (مثل الجرانيت) تحت سطح الأرض بمسافات بعيدة ثم ظهورها على السطح عند تعرضها لعمليات الرفع التكتوني. ووضع هاطون بعض المفاهيم الرئيسة عند دراسة أشكال سطح الأرض ومن بينها «إن الحاضر مفتاح الماضى»، «والتطور

(1) a - Smart, W. M., "The origin of earth", a Pelicam Book (1959) p. 25.
b - Reed, H. H., and Watson, L., "Introduction to geology" London (1962) p. 45.

التدريجي البطيء، لظاهرات سطح الأرض (١).

أما العالم لوى اجازيه *Louis Agassiz* (١٨٠٧ - ١٨٧٣ م) والمهندس السويسرى فنتيه *Venetz* (فى عام ١٨٢١ م) واسمارك *Esmark* (فى عام ١٨٢٤ م) وبرنهاردى *Bernhardi* فى عام (١٨٣٢ م) فقد درسوا الرواسب الجليدية وعرفوا من خلالها الفترات الجليدية البلايوستوسينية التى حدثت فى القارة الأوربية. وفى بريطانيا ظهرت مدارس تؤكد حدوث فعل التعرية الهوائية *Subaerial denudation* فى تشكيل أجزاء مختلفة من سطح الجزر البريطانية.

أما فى الولايات المتحدة الأمريكية فقد أسهم كل من ماجور باويل *Major J. Powell* (١٨٣٤ - ١٩٠٢ م) وجيلبرت *G. K. Gilbert* (١٨٤٣ - ١٩١٨ م) وداتون *C. E. Dutton* (١٨٤١ - ١٩٢١ م) فى تفسير الظاهرات التضاريسية التركيبية النشأة (الحافات والأغوار والهضاب والكتل الصدعية) فى الغرب الأمريكى معتمدين على مشاهداتهم الحقلية. ثم جاء وليم موريس دافيز *W. M. Davis* (١٨٥٠ - ١٩٣٤ م) مؤسس الدراسة الجيومورفولوجية واقترح نظريته المشهورة عن «الدورة التحاتية» *Erosion Cycle* وأوضح بأن الظاهرات التضاريسية لسطح الأرض تختلف من مكان الى آخر تبعاً لتباين التكوين الصخرى *Lithology* ونظام البنية *Structure* وتعدد القوى *Processes* التى تشكلها عبر الزمن *Time*.

وخلال هذه الفترة من الزمن تقدمت دراسات الغلاف أو النظام الغازى وذلك بفضل انتشار محطات الأرصاد الجوفية فى مناطق متفرقة من العالم وسرعة تبادل المعلومات المتيورولوجية لمعرفة حالة الطقس العالمى. وقد عقد أول مؤتمر متيورولوجى عالمى فى مدينة ڤينا فى عام ١٨٧٣ م، وقد ساعدت

---

(١) أ - حسن أبو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية ط ١١ (١١٩٥) ص٤٣.

ب - المرجع السابق ص ٥٢ - ٥٧.

بيانات الأرصاد الجوية على دقة حساب العلماء للمتوسطات الحرارية اليومية والشهرية والسنوية وكذلك معرفة حالة الضغط الجوى العالمى واتجاهات الرياح وحساب كميات الأمطار. ونشرت أول خرائط توضح كمية المطر الفصلى وكمية المطر السنوى فى الولايات المتحدة الأمريكية فى عام ١٨٥٧ م، ونشر كوفين *H. Coffin* دراسته التفصيلية عن اتجاهات الرياح فى نصف الكرة الشمالى فى عام ١٨٥٣ م وقام كليفلاند آبى *C. Abbe* بالتنبؤ بحالات الطقس اليومى فى الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام ١٨٦٩ م. وقد زاد عدد محطات الأرصاد الجوية فى الولايات المتحدة الأمريكية من ٤٠٠ محطة فى عام ١٨٥٧ الى أكثر من ثلاثة آلاف محطة فى عام ١٨٩١ م. وفى عام ١٨٥٠ ظهرت دراسات العالم الألمانى ويلهام دوف *H. W. Dove* عن نشوء العواصف والزوابع المدارية (١).

وفيما يتعلق بالغلاف أو النظام المائى وتطور الفكر فى جغرافية البحار والمحيطات تميزت الدراسة فى هذه الفترة الزمنية باتباعها للأسلوب العلمى المدعوم بالمشاهدات الحقلية وبالتجارب المعملية. وقد اخترع العلماء الكثير من أجهزة الرصد وأدوات القياس الخاصة بدراسة الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحار والمحيطات وأجهزة تختص بجمع الكائنات البحرية الدقيقة الحجم لفحصها ودراستها ميكروسكوبياً (٢).

ويعد ماثيوفونتين مورى الأمريكى *M. F. Maury* (١٨٠٦ - ١٨٨٣ م) مؤسس الأقيانوغرافيا الطبيعية وهو الذى حول الوصف الاقيانوغرافى الى علم له قواعده وأصوله. فى حين يعد ادوار فوربس *E. Forbes* البريطانى هو مؤسس علم الأقيانوغرافيا البيولوجية، وهو أول من درس سمك النجمة *Star Fish* دراسة علمية جادة فى عام ١٨٥٠ م وقد درس شارلس طومسون .C

---

(١) حسن ابو العينين «أصول الجغرافيا المناخية» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية ط ٧ (١٩٩٦) ص ٣٠.

(٢) حسن ابو العينين «جغرافية البحار والمحيطات» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية ط ٩(١٩٩٦).

Thomson (١٨٢٠ - ١٨٨٢ م) التوزيع الرأسى للكائنات البحرية، وأثبت خطأ النظرية القديمة التى كانت معروفة باسم نظرية اللاحياة *Azoic Zone* والتى تنص على عدم وجود حياة فى مياه المحيطات عند عمق ١٨٠٠ قدم. وأثبت طومسون وجود كائنات بحرية وتعيش على أعماق أبعد من ٣٠٠٠ قدم ويعزى ذلك الى قدرتها على تحمل الضغط الواقع عليها وذلك لتشابه مقدار الضغط داخل أجسام هذه الكائنات مع الوسط المائى الذى تعيش فيه. كما قام طومسون مع بعض زملائه من العلماء بتجربة علمية مشهورة هى رحلة شالنجر *Challenger Expedition* فى عام ١٨٧٢ والتى تعد أطول رحلة علمية بحرية فى التاريخ البشرى.

تطور الفكر فى الجغرافيا الطبيعية منذ بداية القرن العشرين حتى الوقت الحاضر :

فيما يختص بدراسة النظام الصخرى والظاهرات التضاريسية خلال هذا القرن تعرضت آراء وليم موريس دافيز للنقد الشديد وحل محلها آراء ومفاهيم عدة مدارس فكرية أخرى غيرت من اتجاهات الفكر الجيومورفولوجى الدافيزى التقليدى.

فقد ظهر منهج الجيومورفولوجيا المناخية *Climatic Geomorphology* الذى أوضح بدور الظروف المناخية فى تشكيل الظاهرات التضاريسية لسطح الأرض. وقام أصحاب هذه المدرسة بتقسيم سطح الأرض الى أقاليم مورفومناخية *Morphoclimatic Regions* ومن أظهر علماء هذه المدرسة دى مارتون *E. De Martonne* (فى عام ١٩٤٠ م) وبيرو *Birot* (فى عام ١٩٦٠ م) وتريكار وكيليه *J. Tricart et Cailleux* (فى عام ١٩٦٥) وبيدل (١٩٦٣) [1]. ونادت فئة أخرى من العلماء بضرورة تكثيف استخدام المنهج

---

(1) a - De Martonne E, "Geographie physique" Paris (1940).

b - Tricart J., et Cailleux, A, "Introduction à la géomophologie climatique" Paris (1965).

الكمى *Quantitative Approach* عند دراسة الظاهرات التضاريسية لسطح الأرض دون الاعتماد على المنهج الوصفى *Qualitative Approach* ذلك لأن المنهج الكمى يساعد الجيومورفولوجى فى أن يقدم استنتاجات جادة مدعومة بالبيانات الكمية ويمكن أن تأخذ بها العلوم الأخرى. ومن بين أشد أنصار هذا المنهج أرثر شترهلر *A. N. Strahler* (فى عام ١٩٥٤) وشورلى *Chorley* (فى عام ١٩٦٠).

ويرى نفر آخرون ضرورة استخدام الاستنتاجات الجيومورفولوجية فى الحياة العملية والاستفادة بنتائجها فى كافة الأنشطة البشرية، ومن ثم تأسس منهج الجيومورفولوجيا التطبيقية *Applied*. ويرى شورلى *Chorley, 1960* بأن الأسلوب العلمى الذى ينبغى أن يتبع فى الدراسات الجيومورفولوجية المعاصرة هو الأسلوب الاستدلالى الكمى *Deductive explanation*. فبينما كانت قاعدة المعلومات فى الجيومورفولوجيا الدافيزية تعتمد على الملاحظات الحقلية الذاتية الكيفية وعلى نتائج التحليل الكارتوجرافى الذاتى غير الموضوعى *Subjective map-analysis* فإن الجيومورفولوجيا المعاصرة تستمد قاعدة معلوماتها من مصادر هى [١] :

١ - نتائج البحث الحقلى *Field Investigation* التى تعتمد على قاعدة بيانات حقلية مدعومة بالقياسات فى الحقل وبالبيانات الكمية لأبعاد الظاهرات التضاريسية المختلفة وحساب مدى فعل عوامل التجوية والتعرية.

C - Stoddart, D. R., "Climatic geomorphology".. in Progress in geography" vol, (1971) p. 161 - 222.

d - Budel, J., "Klima-genetische geomorphotogie" Geographische Rundscau vol. 15 (1963), p. 269 - 285.

(١) حسن ابو العينين «الأساليب العلمية فى الدراسات الجيومورفولوجية المعاصرة واتجاهاتها» ندوة الاتجاهات الحديثة فى علم الجغرافيا - جامعة الاسكندرية، ٢٧ - ٢٩ نوفمبر ١٩٩٥.

٢ - نتائج الفحص المعملى *Laboratory Examination* لعينات من الصخور والتربة والرواسب وتحليلها الحجمى والمعدنى.

٣ - التحليل الكارتوجرافى الكمى *Cartographic Analysis*.

٤ - جمع البيانات عن طريق استخدام التقنيات الحديثة، والاستعانة بالصور الجوية وتحليل المرئيات الفضائية عند دراسة أشكال سطح الأرض.

٥ - استخدام الحاسوب ونظم المعلومات الجغرافية *GIS* لحصر الكم الهائل من المعلومات وتخزينها فى الحاسوب وتبويبها وتصنيفها ومعالجتها باستخدام مكونات الحاسوب الأساسية *Hardware* أو الاستعانة ببرامجه المتخصصة *Software*.

وفيما يختص بدراسات النظام الغازى فقد حدثت فيه نقلة كبيرة فى الأجهزة والأدوات المستخدمة فى عمليات الرصد الجوى وذلك منذ بداية الحرب العالمية الأولى فى عام ١٩١٤ م حتى الوقت الحاضر وأصبح من السهل استخدام الطائرات وأجهزة الراديو سوند والبالونات المزودة بالمتيوجراف اللاسلكى والصواريخ والأقمار الصناعية المتيورولوجية وكافة الأجهزة الالكترونية عند تجميع قاعدة بيانات الأرصاد الجوية بالقرب من سطح الأرض أو عند أعالى طبقة التروبوسفير.

وتتبادل دول العالم اليوم البيانات الطقسية عبر قنوات اتصال منظمة الأرصاد الجوية العالمية *World Meteorological Organization (W. O. M.)* التى أعيد تأسيسها فى عام ١٩٥١ بحيث تكون تابعة لمنظمة هيئة الأمم المتحدة ومركزها الرئيسى فى مدينة جنيف بسويسره. وخلال المؤتمر المتيورولوجى العالمى الرابع *Fourth World Mateorological Congress* الذى انعقد فى جنيف عام ١٩٦٣، اتفقت دول العالم على تخصيص ما يعرف بالساعة الطقسية العالمية *World Weather Watch* بحيث تقوم كل دولة من دول أعضاء منظمة الأرصاد الجوية العالمية بتلفزة معلومات ونشرات عن حالة الطقس اليومى فوق أجزاء محددة من سطح الأرض، وبتجميع المعلومات من المحطات المسئولة عن عمليات التلفزة الطقسية يمكن معرفة حالة الطقس

اليومى فى كل أجزاء العالم (١). ومن ثم تم إنشاء نظام الرصد العالمى Global Observating System (G. O. S)، وقد بلغ عدد محطات الأرصاد الجوية العالمية المشتركة فى هذا النظام نحو ٣٣٠٠ محطة فى عام ١٩٧٠ م منها ٥١١ محطة فى أفريقيا ونحو ٨٧٥ محطة فى آسيا ونحو ٢٩٨ محطة فى أمريكا الجنوبية ونحو ٤٤٤ محطة فى أمريكا الشمالية ونحو ٣١٤ محطة فى المحيط الهادى الجنوبى ونحو ٨٣٥ محطة فى أوربا و٢٤ محطة فى القارة القطبية الجنوبية. وقد أسهمت المرئيات الفضائية للغلاف الغازى التى يحصل عليها المتيورولوجيون يومياً لحالة الطقس العالمى من الصور الرقمية للأقمار الصناعية المناخية فى سرعة تبادل البيانات الطقسية فى أنحاء العالم أجمع.

وفيما يختص بدراسات النظام المائى فقد قفزت المعرفة الأقيانوغرافية منذ بداية هذا القرن قفزات سريعة نحو التقدم والتطور، وأولت بعض الحكومات والجامعات وبعض الأفراد الاهتمام بتعزيز أجزاء البحوث العلمية الأقيانوغرافية وتمويلها. واهتمت بعض دول العالم بتخصيص وانشاء سفن الأبحاث الأقيانوغرافية وتجهيزها بالأدوات اللازمة لإجراء البحوث الطبيعية والكيميائية والبيولوجية لمياه البحار والمحيطات. ومن بين سفن الأبحاث الأقيانوغرافية سفن أطلانتس *Atlantis II* وهدسن *Hudson* وسارس *G. O. Sars* ومتيور *Meteor* وبلانيت *Planet* وكوميت *Comet*. هذا الى جانب اختراع سفن الأبحاث الأقيانوغرافية الدوارة والتى يمكن لها البقاء فى وضع رأسى بالمياه (دون اهتزاز) لمدة طويلة، واقامة المحطات البحرية المؤقتة

---

(١) أ – حسن ابو العينين «أصول الجغرافيا المناخية» مؤسسة الثقافة الجامعية . الاسكندرية ط٧ (١٩٩٦) ص٣٢ – ٤٤.

a - Mather, J. R., "Climatology..." Mc Graw-Hill, N. Y. (1976).

b - Critchfield, H. J., "General Climatology", Prentice - Hall, N. J. 2nd edi (1966) p. 5.

c - Petterssen, S., "Introduction to meteorology", Mc Graw-Hill, N. Y. (1969) p. 15 - 18.

(مثل سفينة فيليب *Filp*) . هذا الى جانب انشاء المحطات البحرية العملاقة الطافية وأبراج البحث الأقيانوغرافى المثبتة فى أرضية البحار بقصد انشاء محطات أقيانوغرافية ثابتة تسهم فى عمليات رصد الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحار والمحيطات (١) .

كما تطورت الأجهزة المستخدمة فى قياس درجة حرارة مياه البحار رأسياً وعلى أعماق بعيدة وتحديد نسبة ملوحتها وكثافتها والأجهزة الخاصة بحساب أعماق البحار وتلك التى تختص بجمع العينات الصخرية والارسابية من أرضية البحار. هذا الى جانب تطور أجهزة قياس الأمواج وسرعة المد والجزر وارتفاعه وسرعة التيارات البحرية واتجاهاتها وآلات التصوير تحت الماء وفى الأعماق البعيدة، واستخدام الغواصات وكرات الأعماق فى البحث الأقيانوغرافى وتحديد المسطحات المائية البحرية التى تتعرض للتلوث النفطى وبغيره من المواد الأخرى عن طريق الاستعانة بوسائل الاستشعار من بعد *Remote Sensing*.

هذا التطور الهائل فى الوسائل المستخدمة فى الحصول على قاعدة البيانات الأقيانوغرافية أسهمت فى تعزيز هذا العلم وأصبحت الاستنتاجات تعتمد على أدلة علمية مدعومة بنتائج الدراسات التجريبية والميدانية والمعملية والكمية.

---

(١) أ – حسن ابو العينين ،جغرافية البحار والمحيطات، موسسة الثقافة الجامعية ـ الاسكندرية ـ ط ٩ (١٩٩٦).

b - Von Arex, W. S., "Introduction to physical Oceanography", London (1962).

الباب الأول

النظام الفضائى (السماوى)

(كوكب الأرض والمجموعة الشمسية)

الفصل الأول : المجموعة الشمسية وخصائصها العامة.

الفصل الثانى : نشوء الكون وكوكب الأرض.

الفصل الأول
المجموعة الشمسية وخصائصها العامة

لا يعد كوكب الأرض كوكباً منعزلاً طليقاً فى الفضاء الخارجى *outer space* بل هو مربوط ومحكوم ومقنن بحركة محورية حول نفسه وأخرى انتقالية فى مدار له حول الشمس. ويشبهه فى هذا الأمر كل الكواكب الأخرى التى تتأثر بجاذبية الشمس الأم ويطلق عليها اسم كواكب المجموعة الشمسية، وتشمل عطارد *Mercury* والزهرة *Venus* والمريخ *Mars* والمشترى *Jupiter* وزحل *Saturn* وأورانوس *Uranus* ونبتون *Neptune* وبلوتو *Pluto* (شكل ٢).

ويشاهد الانسان الذى يعيش على سطح الأرض (خاصة فى الليالى الصافية وبالعين المجردة) السماوات الفسيحة ومجموعات من النجوم تزينها وكأنها عناقيد من العنب يجاور بعضها بعضاً ومن أظهرها للرؤية مجموعة نجوم الثريا *Pleiaseds* فى كوكب الثور *Tauri* وكما يرى المشاهد بعض الكواكب والأقمار والنيازك والشهب والمذنبات.

وما يحدث فى الفضاء الخارجى من سقوط الأشعة الشمسية بمقدار محدد على سطح الأرض وحدوث عمليات كسوف الشمس وخسوف القمر وتساقط بقايا الشهب يؤثر فى حياة الانسان على سطح هذا الكوكب. ومع ذلك يرى الكاتب بأن النظام الفضائى (السماوى) يعد جزءاً من الأغلفة أو الأنظمة *Systems* التى تحيط بكوكب الأرض وتشكله وتؤثر فى بيئته الطبيعية ومظهر الحياة عليه ومن ثم يمكن أن نحدد النظم (أو النطاقات أو الأغلفة) التى تؤثر فى البيئة الطبيعية (النظام البيئى *Eco-system*) لسطح الأرض وتشكلها فى الآتى :

١ - النظام الفضائى (أو السماوى) *The Outer Space System*.

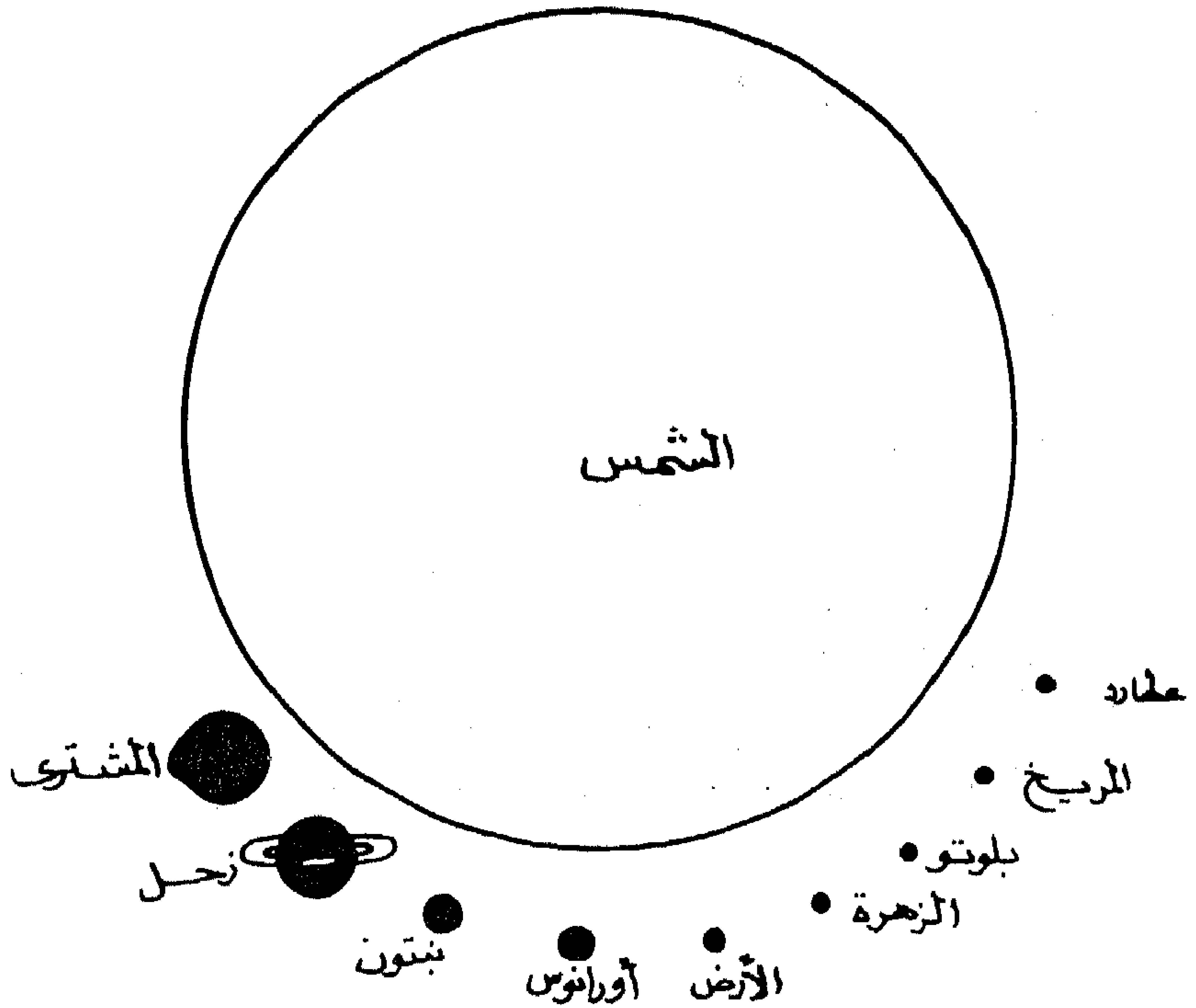
٢ - النظام الصخرى *The Lithosphere System*.

٣ - النظام الغازى *The Atmosphere System*.

٤ - النظام المائى *The Hydrosphere System*.

ويختص هذا الباب الأول من الكتاب بدراسة النظام الفضائى (أو السماوى) فى فصلين متتابعين يعرضان لدراسة المجموعة الشمسية وخصائصها العامة ولنشوء الكون وكوكب الأرض.

كوكب الأرض وكواكب المجموعة الشمسية :



(شكل ٢) اختلاف أحجام كواكب المجموعة الشمسية

يبلغ قطر الشمس نحو ٨٦٠ ألف ميل وتقدر كتلتها بنحو ٣٣٣,٠٠٠ مثلاً لكتلة الأرض، وهى شديدة الحرارة جداً بحيث تضىء نفسها بنفسها ولا تستمد أى ضوء من كوكب آخر.

ولم يعرف سكان كوكب الأرض أفراد المجموعة الشمسية إلا بعد مجهودات مضنية من الأبحاث الفلكية، ولا يزال الكثير من خبايا الفضاء الكونى لا يعرفه العلم الوضعى الحديث حتى اليوم. وحتى أيام جاليليو (١٥٦٤ - ١٦٤٢) لم يكن يعرف العلماء من كواكب المجموعة الشمسية سوى تلك القريبة من الأرض أو الأخرى الكبيرة الحجم. ونجح الفلكيون فى اكتشاف كوكب أورانوس فى عام ١٧٨١ وكوكب نبتون فى عام ١٨٤٦، وكوكب بلوتو فى عام ١٩٣٠.

وقد أسهمت التقنيات الحديثة وأجهزة الرصد المطورة فى كشف النقاب عن كثير من أنواع السدم فى الفضاء الخارجى مثل سديم المرأة المسلسلة *Andromeda* وسديم السرطان البحرى *Carb Nebulae*.

ويتألف الفضاء السماوى من نجوم وكواكب وكوكبات، وتختلف النجوم *Stars* عن الكواكب *Planets* فى أنها عبارة عن كتلة غازية هائلة الحجم متوهجة وتضيئ نفسها داخلياً أو ذاتياً كما أن بعضها أكثر لمعاناً وأشد ضياء من نجم الشمس، وذلك تبعاً لمقدار الطاقة الحرارية والضوئية المنبعثة والمشعة من الكتلة الغازية الهائلة لكل نجم منها.وتتجمع المجاميع النجمية داخل سحابة فضائية هائلة الحجم تعرف باسم المجرات *Galaxis* والتى تتباعد فيما بينها (بما فيها من ملايين النجوم) بمسافات تقاس بالآف السنين الضوئية والناظر الى القبة السماوية نهاراً لا يرى مجموعات النجوم المختلفة فى السماء ويحجب بريق الشمس وضوئها الساقط على الأرض لمعان النجوم، وليس ذلك لأن ضياء الشمس ولمعانها أقوى من ضياء النجوم، بل لأن الشمس هى أقرب نجم الى الأرض، وأن النجوم الأخرى تقع على مسافات بعيدة جداً عن الأرض. أما أثناء الليل وحين تبدو السماء بلونها الداكن فتتلألأ النجوم فى

السماء وتشع ضوءها الخافت الباهت على سطح الأرض، ويرى الناظر بعض مجاميعها ومواقعها المختلفة فى السماء بالعين المجردة.

وإذا كانت شمسنا تبعد عن الأرض بنحو ٨,٥ دقيقة ضوئية فقط فإن أقرب نجم إلينا (غير الشمس) يقع على بعد ٤ سنوات ضوئية أى نحو ٣٦ بليون كم (٢٣,٥ بليون ميل). أما النجوم الأخرى البعيدة فإنها تقع على مسافات هائلة تقاس بمئات وآلاف السنين الضوئية (١).

وتختلف النجوم فيما بينها من حيث ألوانها التى تبدو بها عند ظهورها فى القبة السماوية. فبعض النجوم تبدو حمراء اللون مثل نجم ولف ٣٥٩ - *Wolf 359* وهو ثالث أقرب الى الشمس ويقع فى كوكبة الأسد *Leo*، ونجم منكب الجوزاء *Betelgeuse* فى كوكبة الجبار *Orion*، وأعجوبة قيطس *Mira* وهو النجم الأحمر الرائع الجمال فى كوكبة قيطس، ونجم قنطورس القريب *Proxima Centauri* وهو أقرب النجوم الى الشمس من نجوم كوكبة قنطورس (رجل الجبار)، ويبدو ضياء بعض النجوم الأخرى باللون الأبيض أو اللون الأزرق الذى يميل الى البياض مثل نجم رجل الجبار *Rigel* وهو سابع أسطع نجوم السماء، والنسر الواقع *Vega* وهو خامس أسطع نجوم السماء فى كوكبة القيثارة *Lyra*، ونجم الشعرى اليمانية *Sirius* فى كوكبة الكلب الكبير *Alfa Canis Major* فى حين يظهر نجم السماك الرامح فى كوكبة العواء *Bootes* بلون يميل الى الاصفرار (٢).

وقد نجح الفلكيون فى تحليل ضوء النجم الى طيف ضوئى باستخدام «مطياف الضوء» *Spectroscope*. ففى حالة النجوم ذات اللون الأبيض المائل الى الزرقة يكون لمعان الطرف الأزرق فى طيف الضوء شديداً للغاية بخلاف

(1) Ian Ridpoth, Illustrated Dictionary of Astronomy" Longman & Librairie du Liban (1987) p. 95.

(2) Malin D, and Murdin P., "Colours of the Stars" Cambridge Univ. Press (1984).

ما هو عليه الحال فى النجم الأصفر اللون. وبدراسة الخطوط السوداء المختلفة فى أطياف أضواء النجوم ذات الألوان المختلفة (١) . تمكن العلماء من معرفة الكثير عن أنواع الغازات التى تتألف منها النجوم ومقدار التفاعل بينها وبين الطاقة الحرارية والضوئية المنبعثة منها. وقد اتضح للعلماء أن أعلى طاقة حرارية وضوئية هى تلك المنبعثة من النجوم البيضاء المائلة الى الزرقة، وأدناها قوة هى تلك المنبعثة من النجوم الحمراء اللون (٢) .

وحيث أن كل جسم يحترق ويتولد عنه طاقة، يتناقص حجمه، إلا أن العلماء قد تبين لهم أن التناقص فى حجم النجوم يعد بسيطاً جداً بالنسبة لكتلتها الهائلة، وأن ما نسبته ١ ٪ فقط من كتلة الأيدروجين فى النجم السماوى يكفى لبقائه مضيئاً ومشتعلاً وساطعاً بنفس قوته لمدة تزيد على ٣٠٠ مليون عام.

ويخطر للناظر بالعين المجردة الى النجوم فى السماء أنها ثابتة ظاهرياً فى مواقعها. بينما أن كلا منها فى الحقيقة يسبح فى مداره الخاص المحدد له، ويتحرك من برج الى آخر فى الفضاء. فأثناء الليل يمكن مشاهدة حركة النجوم، خصوصاً مجموعة الدب الأكبر *Ursa Major* حول نقطة مركزية فى السماء تقع قريبة من موقع النجم القطبى الشمالى *Polaris* ومع دوران الحركة المحورية اليومية للأرض يشاهد الناظر النجوم فى السماء ساعة بعد أخرى من مواقع مختلفة على الأرض (٣) .

---

(١) أ – المرجع السابق، ص ١٨٠ .

b - Zeilik et al, "Introductory to Astornomy..." Saunders College Publ. N. Y. (1992).

(2) a - Ian Ridpath, "Illustrated Dictionary of Astronomy" Longmen & Librairie du Liban (1987) p. 92.

b - Collier's Encyclopdia, Vol (7) N. Y. (1991) p. 47-52.

c - Tayler, R. T., Galaxies... "Combridge Univ. Press (1993) p. 20.

(3) Theodore, P. Snow :The Dynamic Universe: West Publishing Company (1991), p. 37.

أما مع دوران الأرض فى حركتها الانتقالية حول الشمس فيشاهد الناظر مجموعات النجوم فى مواقع مختلفة فى القبة السماوية حسب موقع الأرض فى مدارها فى كل شهر من شهور السنة.

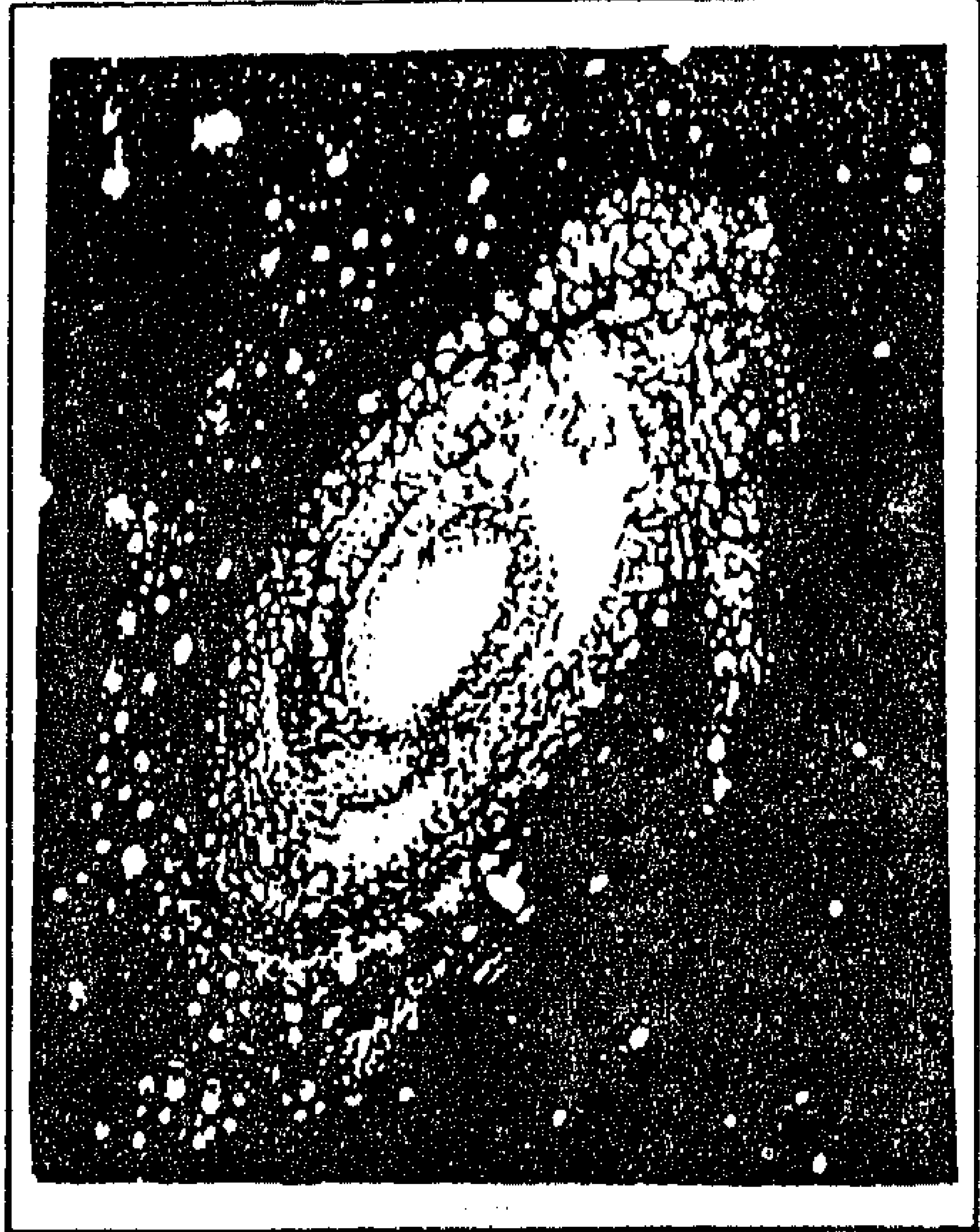
ويضم الفضاء السماوى نجوماً عملاقة الحجم *Giant Star* وأخرى قزمية الحجم *Dwarf Star* نسبياً، كما شاهد العلماء عبر المراقب الفلكية نجوماً تثور لتهدأ وأخرى تهدأ لتثور، وهو ما يطلق عليه اسم النجوم النابضة *Pulsating Star*. وتبدو هذه النجوم الأخيرة ساطعة لامعة تارة، ثم تبدو خافتة أو قاتمة تارة أخرى.

المجاميع النجمية والمجرات والسدم :

يشاهد الناظر الى القبة السماوية ليلاً مجموعات من النجوم، ومن أظهرها وأسهلها للرؤية مجموعة نجوم الثريا *Pleiaseds* التى تظهر عالية فوق كتف الجبار *Orion* وتقع فى كوكبة الثور *Tauri*، ويشاهد الناظر إليها بالعين المجردة سبعة نجوم متلألئة ويطلق عليها اسم الشقيقات السبع *The Seven Sisters* بينما يشاهد العالم الفلكي بواسطة المرقب الفلكى المطور فى الوقت نفسه أكثر من ٥٠٠ نجماً لامعاً فى مجموعة الثريا.

وتسمى المجاميع النجمية حسب شكل تجمعاتها، فمنها المجاميع النجمية المفتوحة، وتلك النحلية (كما فى كوكبة السرطان) والمزدوجة (فى كوكبة فرساوس) التى تقع بالقرب من مجموعات ذات الكرسى كاسيوبيا *Cassiopeia* كما تظهر فى السماء سحابة نجمية هائلة الحجم، تتخذ شكل خصلة طولية من الضوء، مكفهرة ويختلف اتساعها من جزء الى آخر أسماها علماء الفلك قديماً باسم «سكة اللبن» *The Milky Way* (شكل ٣)، لأنها تبدو للناظر إليها فى السماء على شكل طريق أو مجرى من الحليب يقطع الفضاء

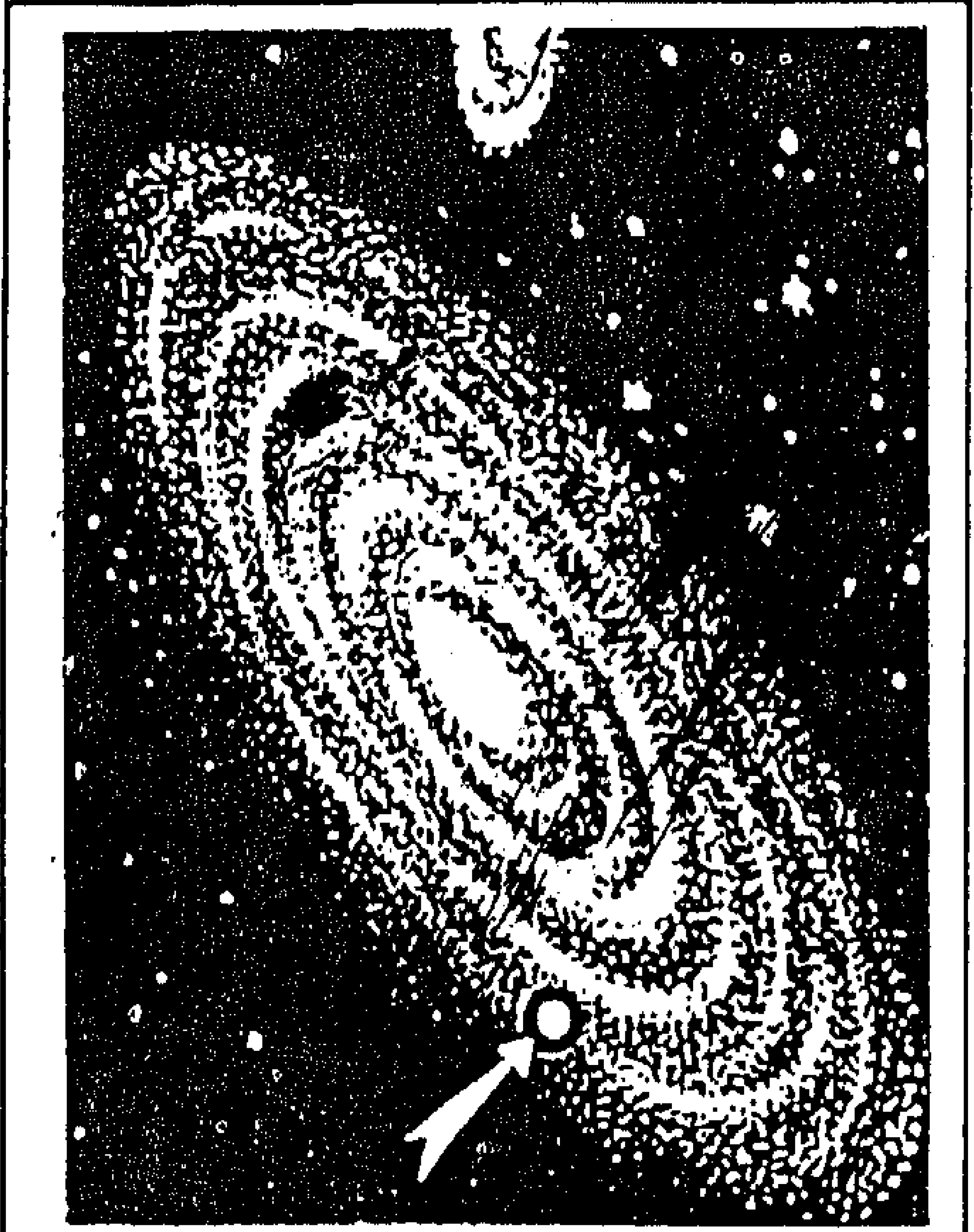
١



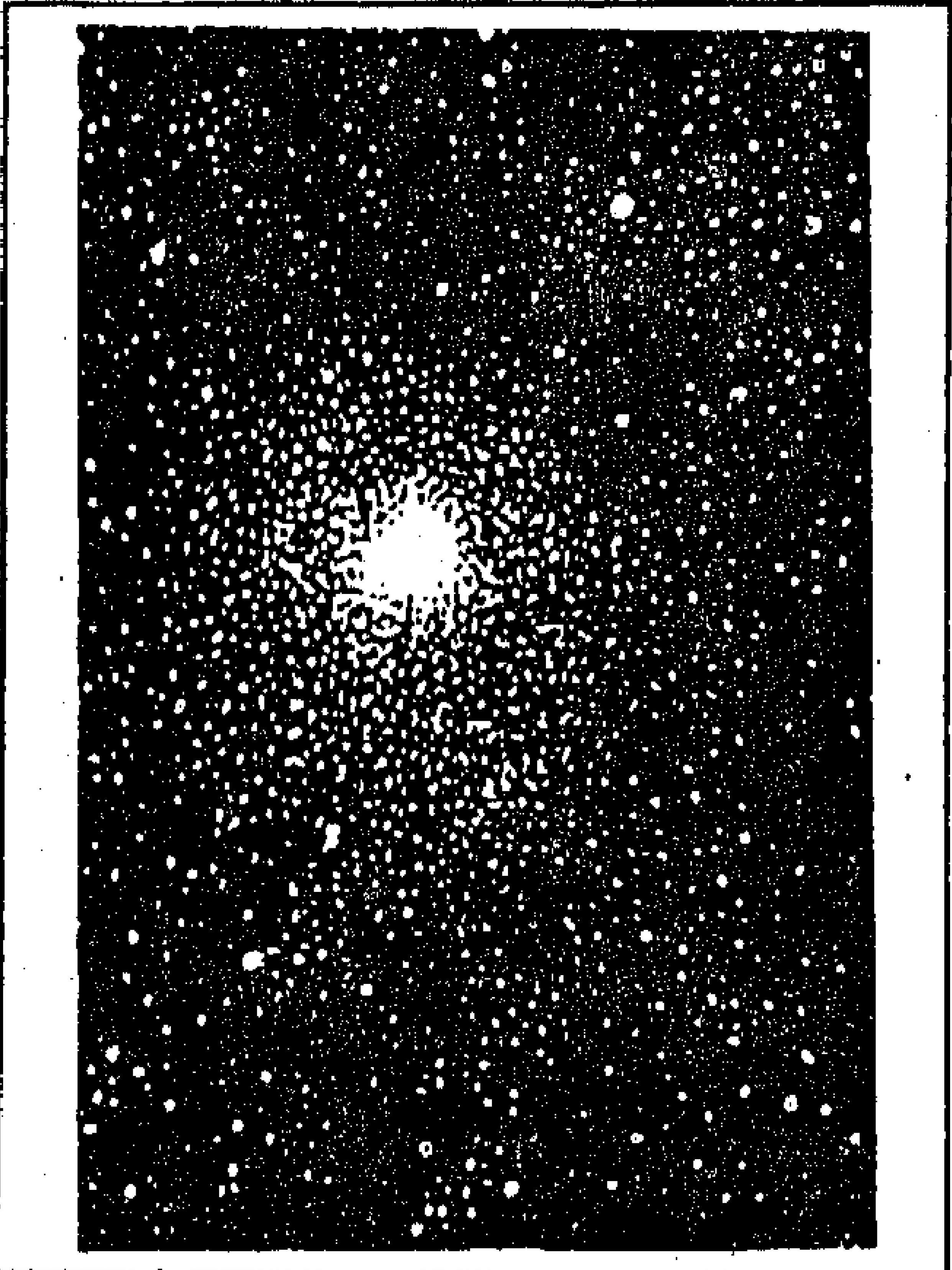
٢



٣



٤



(شكل ٣) أنواع من السدم :

١ – السديم الحلزونى   ٢ – سديم السرطان البحرى

٣ – مجرة درب التبانة ويشير السهم الى موقع المجموعة الشمسية

٤ – التجمع النجمى الكروى فى كوكبة القوس

السماوى. وبعد استخدام المراقب الفلكية المطورة عرف العلماء أن سحابة سكة اللبن تتألف من بلايين البلايين من النجوم.

وتتجمع المجاميع النجمية داخل مجموعة أو مدينة نجمية هائلة الحجم تعرف باسم المجرات *Galaxies*. وقد تتكون مجرات هائلة الحجم، وكثيرة العدد داخل سحابات غازية سديمية فقد تبين أن سحابة السنبلة تضم أكثر من ألف مجرة (١). ويقاس قطر المجرة الواحدة بمئات آلاف السنين الضوئية.

ومجرتنا - درب التبانة - هى عضو فى تجمع يعرف باسم المجموعة المحلية والعضو الرئيسى الآخر فى المجموعة هو المجرة «م ٣١» وهى المجرة الكبرى فى كوكبة المرأة المسلسلة وهى أقرب المجرات الأخرى إلينا، إذ تبعد عن مجرة درب التبانة بنحو ٧٠٠ ألف سنة ضوئية. والعضو البارز فى هذه المجموعة هو المجرة «م ٣٣» التى تقع فى كوكبة المثلث. ويبلغ عدد ما اكتشفه علماء الفلك من المجرات المحلية حتى اليوم ١٩ مجرة تحتل رقعة من الفضاء الكونى يصل طولها الى أكثر من مليون بارسك (٢). وتقع مجرتنا وسديم المرأة المسلسلة فى جانبين متقابلين من المركز (شكل ٤).

وقد صنف الفلكيون شكلين رئيسيين من المجرات هما :

(١) المجرات اللولبية أو الحلزونية الشكل *Spiral Galaxies* :

ويتراوح قطر المجرة الواحدة منها من ١٥٠,٠٠٠ الى ١٥,٠٠٠ سنة ضوئية، وتزداد اتساعاً فى القسم الأوسط منها بينما يقل اتساعها عند أطرافها. وتتوالد الكثير من النجوم الجديدة فى المجرات، ومن بينها النجوم الجديدة القصيرة العمر، الشديدة اللمعان، والتى تسهل عملية رصدها باستخدام المراقب

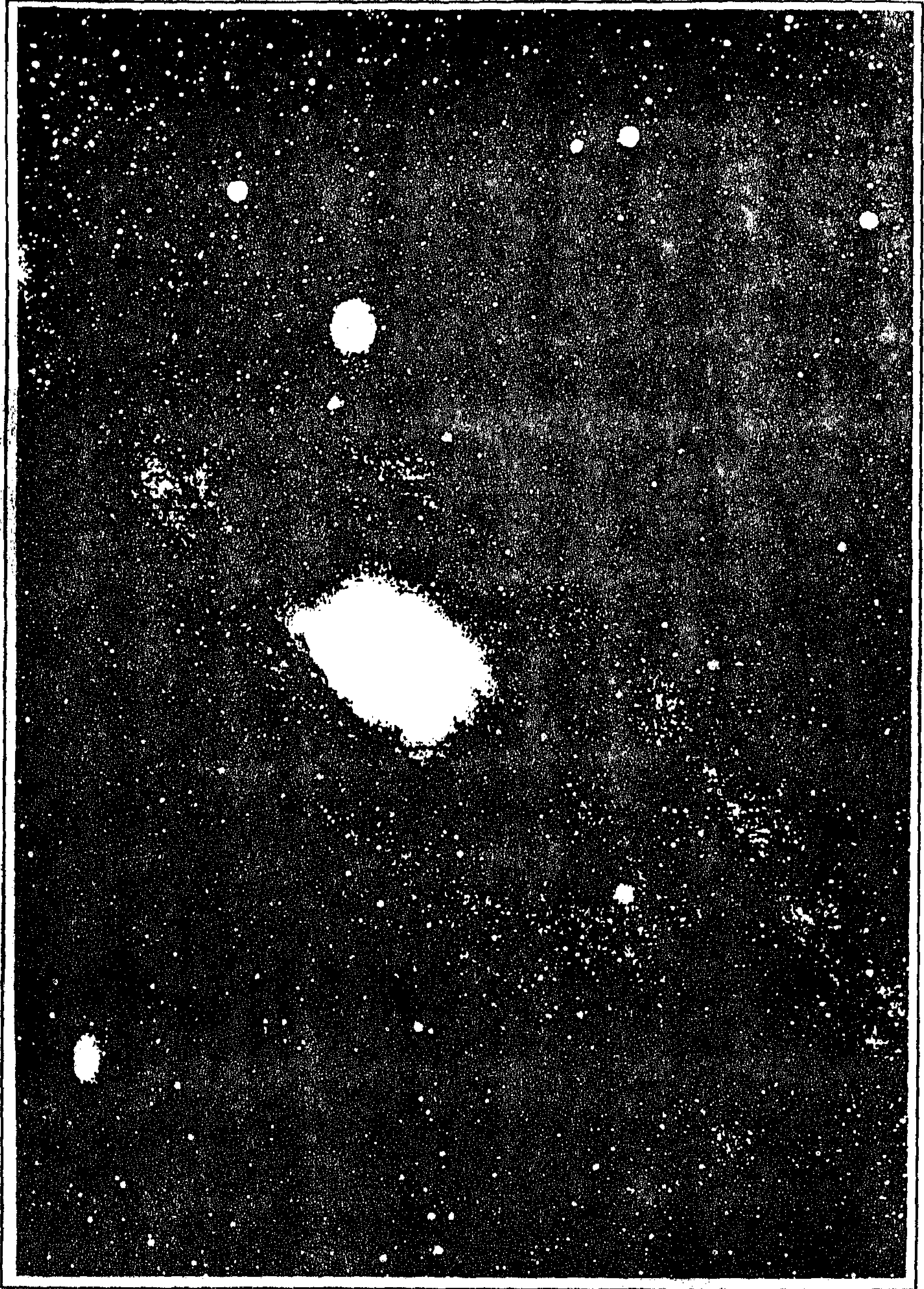
---

(١) فرد هويل. المرجع السابق، ص ٣٢٥ - ٣٣٣.

البارسك : وحدة قياس أبعاد النجوم ويبلغ ١٩,٢٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ميل.

(2) Ensyclopedia Americana, Vol. 7 p. 81.

b - Covington M. A., "Astrophotography" Combridge Univ. Press (1991) p. 68.



(شكل ٤) مجرة المرأة المسلسلة (اندروميدا)
وهى مجرة سديمية ضخمة ولولبية الشكل

الفلكية المطورة نظراً لوقوعها عند أطراف المجرة. ويحيط بالنواة الوسطى فى مركز المجرات اللولبية إنتفاخ اسطوانى الشكل هائل الحجم ويصل قطره الى نحو نصف قطر قرص المجرة نفسها [١].

ومن بين أظهر المجرات اللولبية الشكل مجرة سيفرت *Sey-fert Galaxy* التى ينطلق منها غازات ساخنة جداً بسرعة فائقة.

(٢) المجرات الإهليلجية أو البيضاوية الشكل *Ellipitical Galaxies*:

تتميز المجرات الإهليلجية الشكل بأن مجموعات نجومها تتناسق فى أشكال هندسية رائعة ومنتظمة الشكل، فمنها ما هو كروى أو شبه كروى الشكل ومنها ما هو عنقودى الشكل. كما تختلف هذه المجموعة من المجرات من حيث حجمها، فبعضها عملاقة ذات حجم هائل - وهى نادرة - *Giant Ellipticals* ومنها ما هو فائق العملقة مثل مجرة س. د *C. D. Galaxy*، ويصل اتساعها الى بضع مئات الآلاف من السنين الضوئية، وبعضها الآخر قزمية الحجم *Dwarf Ellipticals* لا يزيد طولها على عدة عشرات أو مئات من السنين الضوئية. ولم يستطع علماء الفلك تحديد العوامل التى أدت الى تعدد أشكال المجرات.

وينتشر فى الفضاء السماوى أحجام هائلة من الغبار والغازات الساخنة، ويمكن مشاهدتها بالعين المجردة كما هو الحال فى مجموعة كوكبة «سيف الجبار». وعند دراستها باستخدام المرقب الفلكى، أكد العلماء أنها تتألف أساساً من غازات ساخنة تنتمى لما يعرف باسم السدم الفضائية الغازية الساخنة *Nebulae*.

ومن بين أظهر السدم فى الفضاء الكونى السديم اللولبى *Spiral* التابع لمجموعة المرأة المسلسلة *Andromeda* وسديم السرطان البحرى (الكابوريا) *Crab Nebulae* والسدم الموهجة *Lumionous* والسديم الحلقى *Ring*

---

(١) فرد هويل - المرجع السابق - ص ٣٢٧.

Nebulae فى كوكبة الشلياق (القيثارة) وسديم العنكبوت *Tarantula Nebulae* فى سحابة مجلان الكبرى، والسديم الحجاب *Veil Nebulae* فى كوكبة الدجاجة *Cygnus* . وتتعرض الأجزاء الهامشية من السديم اللولبى للبرودة التدريجية ويتولد عنه ملايين النجوم التى يندفع الضوء منها فى الفضاء بسرعة ١٨٦,٠٠٠ ميل / ث. وقدر العلماء طول المسافة بين السديم اللولبى وكوكب الأرض بنحو ٩٥٠,٠٠٠ سنة ضوئية.

كواكب المجموعة الشمسية :

يقصد بكواكب المجموعة الشمسية أو ما يسمى بالنظام الشمسى *The Planets of Solar System* مجموعة الكواكب التابعة لنجم الشمس والتى تتأثر بجاذبية الشمس، ويدور كل منها فى مدار خاص به حول الشمس من الغرب الى الشرق. أما الأقمار *Satellites* فهى توابع للكواكب وتتأثر بجاذبيتها وتدور حولها. وتختلف مجموعة الشهب والنيازك والمذنبات عن النجوم والكواكب والأقمار فى حركتها، حيث أنه ليس لها مدارات إهليلجية أو شبه دائرية منتظمة، بل تندفع فى الفضاء السماوى فى اتجاهات مختلفة وتدخل فى نطاق المجموعة الشمسية تارة، ثم تندفع وتخرج بعيداً عنها تارة أخرى، فهى كالمقذوفات النارية الهائلة السرعة.

وتتألف كواكب المجموعة الشمسية من عشرة كواكب ولكل منها حركة محورية وقوة طرد مركزية أسهمتا فى احتفاظ كل كوكب بموقعه فى مداره الانتقالى وعدم التصاقه بجسم الشمس.

واكتشف العالم نيوتن سبب عدم التصاق الكواكب بنجومها فى قانونه عن قوة الجذب بين الكواكب والذى يتمثل فى المعادلة المبسطة $\frac{\text{ك} \times \text{ك١}}{\text{ف٢}}$. فقد أكد نيوتن أن كلاً من أفراد المجموعة الشمسية يقع فى مدار خاص به لا يحيد عنه تبعاً لتناسب العلاقة بين قوة جذب الشمس وكتلتها «ك» بالنسبة لكتلة الكوكب المنجذب إليها «ك١» ومربع المسافة الفاصلة بين مركزيهما «ف٢».

وتحتل كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها التابعة لها والمذنبات والشهب والنيازك وأمهم جميعاً الشمس جزءاً صغيراً من مجرتنا درب التبانة، ويبلغ سمك هذه المجرة نحو عشرة آلاف سنة ضوئية، وتدور حول نفسها بسرعة ٥١٥ كم / الثانية، ويوجد فيها أكثر من ١٠٠ مليون نجم، وإن بعض نجومها أكبر حجماً من الشمس وأشد إلتماعاً منها.

وتمثل الشمس أكثر من ٩٩٪ من إجمالى كتلة المجموعة الشمسية، وتقدر كتلتها بنحو ١٩٨٩ × ١٠^٣٠ كم ^٣ أي أكثر من ٣٣٣ ألف مثل لكتلة الأرض، وإذا كانت بقية كواكب المجموعة الشمسية تمثل ١٪ من إجمالى كتلة المجموعة الشمسية فإن كتلتى كوكب المشترى وكوكب زحل تبلغ ٩٠٪ من إجمالى كتلة كواكب المجموعة الشمسية مجتمعة.

أسطح الكواكب :

تتكون أسطح كواكب المجموعة الشمسية من مواد لها خاصية انعكاس الأشعة الشمسية الساقطة عليها، ومن ثم تبدو جميعها منيرة فى الفضاء السماوى على الرغم من أنها قاتمة معتمة لا يصدر عنها ضوء. وترتفع نسبة السليكات فى القشرة الخارجية لسطح الكواكب. وتختلف نسبة وجود الغازات الطيارة وثانى أكسيد الكربون والمياه من كوكب الى آخر. هذه الاختلافات البيئية لكل كوكب هى من بين أسباب تميز كوكب عطارد بحرارته الجهنمية العالية، وبتكوين الفتحات المجوفة العميقة فى سطحه، كما أنها هى التى حولت كوكب الزهرة الى سطح جحيمى غازى خانق *Suffocating Inferno* فى حين أدت الى كثرة حدوث الفيضانات الكبرى *Mega Floods* فوق سطح المريخ وميزته بمناخه القطبى ليلاً وبحرارته المرتفعة جداً نهاراً. وتتعرض أسطح الكواكب التى ليس لها غلاف غازى لفعل تساقط بقايا الشهب والنيازك عليها وتشكل سطح هذه الكواكب بالحفر العميقة والتجويفات الهائلة الحجم.

الغلاف الغازى للكواكب :

حسب قوة الثورانات والتفاعلات التكتونية فى باطن بعض الكواكب قد

تنبثق من جوفها مواد غازية، وتتجمع فوق أسطحها (إذا ما سمحت قوة جاذبيتها بذلك)، وقد ينعدم خروج الغازات الجوفية من بعض الكواكب الأخرى. ومن ثم فإن بعض الكواكب لها غلاف غازى وبعضها الآخر ليس لها غلاف غازى. وتختلف مكونات الأغلفة الغازية وتركيبها الكيميائى حسب نوع المصهورات والمقذوفات الجوفية التى انبثقت من جوف كل كوكب. فالأرض لها غلاف غازى انبثق مع المصهورات البركانية التى اندفعت من باطن الأرض وتجمعت بفعل قوة جاذبية الأرض حول سطحها. ويتألف الغلاف الغازى الأرضى من ٧٧ ٪ نيتروجين ونحو ٢١ ٪ أكسجين، وغازات أخرى. وقد أسهم الغلاف الغازى لكوكب الأرض فى تكوين مياه البحار والمحيطات وزيادة حجم المسطحات المائية فيه حتى أنه يطلق على الأرض اسم «الكوكب المائى» *Water Planet* . بينما الكوكب عطارد ليس له غلاف غازى، ويتركب الغلاف الغازى لكوكب بلوتو من غاز الميثان $CH4$ الذى لا يشجع نشوء حياة فيه مثل تلك التى على الأرض، ويتشابه التركيب الكيميائى للغلاف الغازى لكوكب الزهرة الى حد ما مع مثيله حول كوكب المريخ فى أنه يتألف من ثانى أكسيد الكربون $CO2$ (٩٦ ٪) ونيتروجين $N2$ (٣,٥ ٪)، وللمريخ غلاف غازى يتركب من ٩٥ ٪ من ثانى أكسيد الكربون ونحو ٢,٧ ٪ نيتروجين ونحو ١,٦ ٪ أرجون(٢). واندفعت هذه الغازات مع المصهورات البركانية القديمة.

أما الغلاف الغازى لمعظم الكواكب التى تقع بعيداً عن الشمس والكبيرة الحجم فإن وجد لها فإنه يتركب أساساً من غاز الهيدروجين $H2$ مع وجود نسبة صغيرة من غاز الهيليوم. فالغلاف الغازى لكوكب المشترى يتكون من ٨٩ ٪ هيدروجين و١١ ٪ هليوم مع الغازات الأخرى بنسب قليلة جداً مثل الأمونيا (غاز النشادر) NH_3 [1].

(١) أ. د. حسن ابو العينين «كوكب الأرض» الطبعة العاشرة ، الاسكندرية (١٩٨٨ م) ص ٦ ، والحادية عشرة (١٩٩٦) ص ٥١

أما زحل فإن غلافه الغازى يتركب من ٩٤ ٪ هيدروجين ونحو ٦ ٪ هليوم. وتحتوى كل هذه الأغلفة على قطرات من السوائل وأجسام صغيرة صلبة عالقة فيها. وينتج عن قطرات ثانى أكسيد الكبريت H_2SO_4 تكوين السحب الساطعة *Bright Clouds* لكوكب الزهرة، وتصل سرعة الرياح فى هذا الكوكب الى ١٠٠ م / الثانية (٢٢٤ ميل / الساعة).

وقد تظهر السحب المرئية لبعض الكواكب الكبيرة الحجم على شكل أحزمة أو نطاقات كبرى تحيط بالمناطق الاستوائية منها، ومن أظهرها السحب الكثيفة ذات البقع الحمراء حول كوكب المشترى والسحب الباهتة اللون حول كوكب زحل. ويعزى لون السحب الى مقدار نسبة الكبريت والجزيئات الهيدروكربونية فيها. ونتيجة لإمتصاص غازات الهيدروجين للأشعة الحمراء تبدو سحب كوكب أورانوس وكوكب نبتون زرقاء اللون (١).

كواكب المجموعة الشمسية وخصائصها العامة :

تتألف المجموعة الشمسية من الآتى :

الزهرة *Venus* :

يكاد كوكب الزهرة يناظر كوكب الأرض من حيث الحجم، ومن ثم يعتبر بعض الفلكيين أن الزهرة أخت كوكب الأرض *Sitert Planet* ولكن يتضح أن كتلة كوكب الزهرة تبلغ نحو ٠٨, من كتلة الأرض، ويدور هذا الكوكب ببطء شديد جداً حول محوره من الشرق الى الغرب، كما يدور حول الشمس فى دورة انتقالية من الغرب الى الشرق كل ٤٤٠ يوم. وقد تبين للعلماء بأن الوقت الذى تستغرقه الدورة المحورية لكوكب الزهرة أطول من الوقت الذى

---

(١) نظراً لإمتصاص الغلاف الجوى الأشعة البنفسجية ولما فيه من ذرات ترابية دقيقة الحجم تعكس الأشعة الشمسية ـ أكسب الغلاف الجوى الأرض لونها الذى يميل الى الزرقة عند النظر إليها من الفضاء. بينما يعرف المريخ بالكوكب الأحمر، وزحل بالكوكب الأصفر، والزهرة بالكوكب الأبيض النيّر. ونشأ الغلاف الغازى للمريخ بفعل اندفاع المصهورات والغازات البركانية التى تعرض لها هذا الكوكب قديماً.

يستغرقه هذا الكوكب للدوران دورة انتقالية كاملة واحدة حول الشمس وذلك تبعاً لبطء دورانه حول نفسه. وكان لذلك أثره في تراكم السحب الغازية حول كوكب الزهرة وحجب الإشعاع المرتد من سطحه، ومن ثم ارتفعت درجة حرارة سطح هذا الكوكب الى درجة عالية جداً، بحيث لا تناسب وجود حياة بشرية مماثلة لتلك الموجودة على كوكب الأرض (١).

كوكب الأرض وقمره :

الأرض كوكب من كواكب المجموعة الشمسية يبلغ متوسط قطره نحو ٧,٩٢٧ ميل، ويزيد طول القطر الاستوائي على طول القطر القطبي بنحو ٢٧ ميل. ويرجح الباحثون بأن هذه الزيادة في طول القطر الاستوائي ترجع الى تأثير عمليات دوران الأرض حول نفسها وبفعل قوة الطرد المركزية وخاصة أثناء المراحل الأولى التي تكون خلالها كوكب الأرض (٢).

وتدور الأرض حول الشمس دورة كاملة كل عام وينجم عن اختلاف موقع الأرض بالنسبة للشمس خلال فترة دورانها هذه تكوين الفصول الأربعة في حين تدور الأرض حول نفسها (حول محورها) دورة كاملة في اليوم الواحد، وينشأ عن ذلك تعاقب الليل والنهار، حيث يكون نصف الكرة الأرضية المواجه للشمس مضيئاً والنصف الآخر مظلماً، وتوضح البيانات الآتية بعض المعلومات الخاصة عن حجم الأرض ومساحتها وكثافتها.

أولاً : بعض أطوال الأرض وأبعادها :

من بين المحاولات لمعرفة أبعاد الأرض التجربة التي اقم بها عالم الرياضيات الفلكي الاسكندري ايراتوسطين (١٧٦ - ١٩٦ ق.م.) لمحاولة إيجاد محيط الأرض. فقد لاحظ ايراتوسطين اختلاف ميل أشعة الشمس عن سمت الراصد فيما بين الاسكندرية وأسوان على اعتقاد منه أنهما تقعان على

---

(١) د. حسن ابو العينين ،كوكب الأرض، الاسكندرية - الطبعة العاشرة (١٩٨٨ م)، ص ٥ - ٢٠، والحادية عشرة (١٩٩٦) ص ٥١.

خط طول واحد. وكان مقدار هذه الزاوية ٥٧,٢ وتساوى المسافة بين المدينتين والتى قدرها بنحو ٥٠٠٠ فرسخاً يونانياً. ومن تقديره لقوس هذه الزاوية استطاع أن يقدر محيط الكرة الأرضية بنحو ٢٥٢,٠٠٠ أستديا (الميل نحو ١٠ استديات) أى نحو ٢٤٦٢٢ ميل (٣٩٥٠٠ كم).

وفيما يلى بعض بيانات عن أبعاد الأرض :

نصف القطر القطبى	٣,٩٥٠ ميل (٦٣٥٧ كم)
نصف القطر الاستوائى	٣,٩٦٤ ميل (٦٣٧٨ كم)
متوسط نصف قطر الأرض	٣,٩٥٦ ميل (٦٣٧١ كم)
المحيط القطبى	٢٤,٩٠٠ ميل (٤٠,٠٠٩ كم)
المحيط الاستوائى	٢٤,٨٥٧ ميل (٤٠,٠٧٧ كم)

(قيمة التفلطح) درجة الأهليلجية للأرض *Ellipticity* ـ مقدار التناقص عن الشكل الدائرى المنتظم)

$$\text{قيمة التفلطح} = \frac{\text{القطر الاستوائى} - \text{القطر القطبى}}{\text{القطر الاستوائى}} = \frac{١}{٢٩٧}$$

ثانياً : حجم الأرض :

حجم الأرض عامة	٢٦٠ بليون ميل٣ (١,٠٨ × ١٠ ^٨^ كم٣)
حجم المسطحات المائية	٣٣٠ مليون ميل ٣ (١,٣٧٠ × ١٠^٦^ كم٣)
حجم قشرة الأرض *Crust*	٢ بليون ميل ٣ (٦,٢١٠ × ١٠^٦^ كم٣)
حجم القشرة الغطائية للأرض *Mantle*	
	٢١٦ بليون ميل ٣ (٨٩٨٠٠٠ × ١٠^٦^ كم٣)
حجم باطن الأرض *Core*	٤١ بليون ميل ٣ (١٧٥,٥٠٠ × ١٠^٦^ كم٣)

ثالثاً : كثافة الأرض : (على أساس كثافة المياه = ١)

متوسط كثافة الأرض	٥,٢٥
كثافة قشرة الأرض	٢,٨٥

كثافة القشرة الغطائية للأرض ٤,٥٣
كثافة باطن الأرض ١٠,٧٠

رابعاً : مساحة الأرض :

مساحة سطح الكرة الأرضية ١٩٨ مليون ميل ٢ (٥١٠ × ١٠^{٦} كم٢)
مساحة اليابس (٢٩,٢٢٪ من مساحة الكرة الأرضية)
٥٧,٥ مليون ميل ٢ (١٤٩ × ١٠^{٦} كم٢)
مساحة المسطحات المائية (٧٠,٧٨٪ من مساحة الكرة الأرضية)
١٣٩,٤ مليون ميل ٢ (٣٦١ × ١٠^{٦} كم٢)
مساحة اليابس مع مساحة الرفارف القارية
١٢٨,٤ مليون ميل ٢ (٣٢٢,٦ × ١٠^{٦} كم٢)

خامساً : مناسيب الأرض :

أعلى ارتفاع (قمة افرست)	٢٩,٠٢٨ قدم (٨,٨٤٨ م)
أكبر عمق معروف للماء (بخانق ماريانا)	٣٦,١٩٨ قدم (١١,٠٣٣ م)
متوسط ارتفاع اليابس	٢,٧٥٧ قدم (٨٤٠ م)
متوسط أعماق المحيطات	١٢,٤٦٠ قدم (٣,٨٠٨ م)

سادساً : حركة الأرض ودورانها :

للأرض حركتان، تعرف الحركة الأولى باسم الحركة المحورية أو الدورانية حيث تدور الأرض حول محورها الوهمى من الغرب الى الشرق. وتعرف الحركة الثانية باسم الحركة الانتقالية حيث تدور فيها الأرض حول الشمس من الغرب الى الشرق أيضاً فى مدار أهليلجى خاص بها لا يتغير ولكن تنتقل الأرض فى هذا المدار من مكان الى آخر على مدار السنة. ولا يشعر الانسان بحركة دوران الأرض حول محورها ذلك لأن كل ما يحيط به يتحرك معه فى نفس الاتجاه.

ويلاحظ أن كل ما يتمثل على سطح الأرض من منشآت عمرانية ومياه

البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات وكذلك الغلاف الغازى الذى يقع فوق سطح الأرض لا يتعرض للسقوط مع دوران الأرض حول نفسها أو حول الشمس، ذلك لأنها جميعاً تتأثر بفعل قوة الجاذبية الأرضية. وبدون هذا الفعل الأخير فإن هواء الغلاف الغازى قد يصعد الى أعلى ويبعد عن الأرض حتى تصبح الأرض دون غلاف جوى وتنعدم الحياة عليها. وأوضح العلماء بأن الأرض اكتسبت قوة جاذبيتها تبعاً لتجمع المواد الثقيلة الوزن جداً العالية الكثافة فى باطنها والتى نتجت هى الأخرى تبعاً لدوران الأرض حول محورها منذ بداية ميلادها الى يوم الدين.

وتدور الأرض حول محورها الوهمى دورة واحدة كاملة كل ٢٣ ساعة و٥٦ دقيقة و٤ ثوانى، وتعد هذه المدة الزمنية هى المدة الفاصلة بين رؤية نجم ثابت فى الفضاء ثم رؤيته مرة ثانية من نفس المكان وتسمى هذه المدة باليوم النجمى. أما اليوم الشمسى فإنه أطول من اليوم النجمى بنحو ٣ دقائق و ٥٦ ثانية (٢٤ ساعة تماماً) ويحسب اليوم الشمسى بنفس حساب اليوم النجمى إلا أن النجم الثابت فى هذه الحالة هو الشمس. أو بمعنى آخر فإن اليوم الشمسى هو عبارة عن المدة التى تنقضى بين مرور الشمس على خط زوال واحد مرتين متتاليتين (١).

وينتج عن دوران الأرض حول محورها من الغرب الى الشرق تعاقب حدوث الليل والنهار، حيث إن النصف الكروى من الأرض الذى يواجه الشمس يصبح مضيئاً فى حين يكون النصف الآخر معتماً. فلو كانت الأرض لا تحدث فيها هذه الحركة المحورية لقسمت الأرض الى نصف مضىء دائم وآخر معتم سرمد (شكل ٥).

---

(١) يزيد اليوم الشمسى عن اليوم النجمى بـ ٣ دقائق و ٥٦ ثانية ذلك لأن الأرض إذا أتمت حركة كاملة حول محورها الوهمى أمام النجوم فإنها تكون قد قطعت جزءاً من مسارها حول الشمس يقدر بنحو ١/٣٦٥ من هذا المسار. أى أن اليوم الشمسى - اليوم النجمى = ١/٣٦٥ من اليوم

أى يساوى ١/٣٦٥ × ٢٤ × ٦٠ = ٥٦ ثانية و ٣ دقيقة

على ذلك فإن السنة الشمسية = ٣٦٥,٢٤ يوماً شمسياً

= ٣٦٦,٢٤ يوماً نجمياً.

الانقلاب الشتوى

٢٢ديسمبر

الانقلاب الصيفى

٢٢يونيو

الأشعة الشمسية

الاعتدال الخريفى ٢٣ سبتمبر

والاعتدال الربيعى ٢١ مارس

القطب الشمالى

القطب الجنوبى

(شكل ٥) إختلاف طول الليل والنهار عند دوائر العرض المختلفة

خلال فصول السنة

أما الحركة الثانية فهى الحركة الانتقالية السنوية للأرض فى مدارها الإهليلجى حول الشمس ويطلق أحياناً على هذا المدار اسم الدائرة الكسوفية. وتميل هذه الدائرة الأخيرة عن دائرة خط الاستواء السماوية بزاوية مقدارها ٢٣,٥°. وحيث إن مدار الأرض حول الشمس أهليلجياً، فإن المسافة بين الشمس والأرض ليست متساوية تماماً فى المواقع المختلفة على طول هذا المدار الإهليلجى، ويطلق على أقرب نقطة للأرض عن الشمس اسم نقطة الحضيض وتبلغ نحو ١٤٧ مليون كم فى حين يطلق على أبعد نقطة عن الشمس نقطة الأوج وتبلغ نحو ١٥٢ مليون كم.

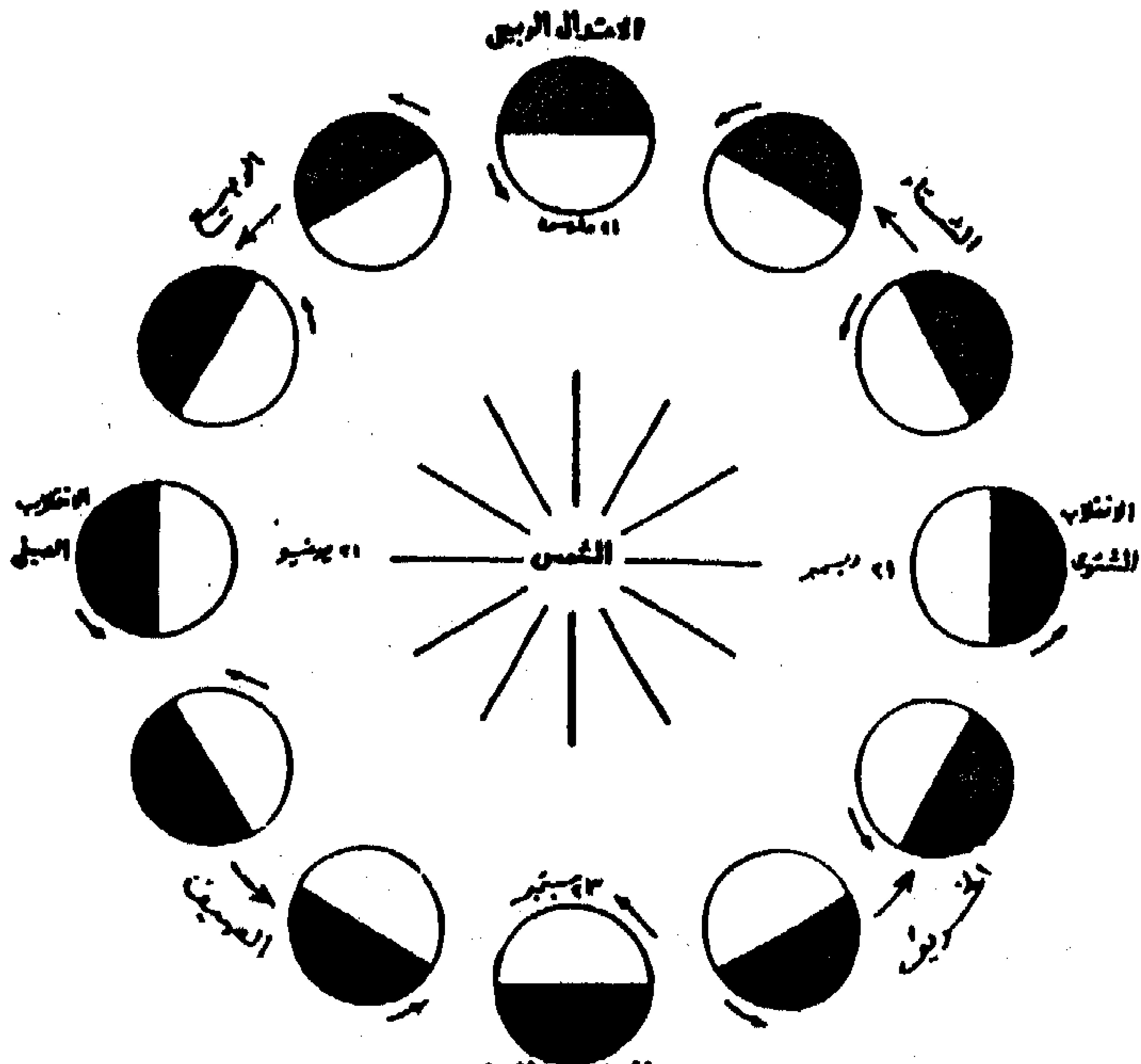
وعند دوران الأرض فى مدارها حول الشمس فإنها لا تغير من محورها المائل (الذى يميل عن المحور العمودى على مسار الأرض بزاوية قدرها ٢٣,٥°) بل يظل هذا المحور موازياً دائماً لنفسه فى مختلف المواقع على طول المدار وينجم عن ذلك تغير تعامد أشعة الشمس على الأرض على مدار السنة. وهكذا أدى ميل محور الأرض أثناء دورانها حول الشمس الى اختلاف مساحة أجزاء الأرض المعرضة للشمس (الدائرة الضوئية) فى مختلف دوائر العرض بنصفى الكرة الأرضية. ومن ثم فإن إختلاف طول الليل والنهار وحدوث الفصول الأربعة (فى الشتاء والربيع والصيف والخريف) تعد نتيجة للدورة السنوية للأرض حول الشمس وميل محور الأرض على مستوى مدارها. ففى منتصف الربيع ومنتصف الخريف تكون الشمس متعامدة على خط الاستواء وعلى ذلك يتساوى طول الليل وطول النهار عند كل دوائر العرض المختلفة وتعرف هذه الفترة (٢١ مارس و٢٣ سبتمبر) بالاعتدالين الربيعى والخريفى. أما فى منتصف الشتاء (الشمالى) تكون الشمس متعامدة على دائرة عرض ٢٣,٥ جنوباً (مدار الجدى) وفى منتصف الصيف (الشمالى) تكون الشمس متعامدة على دائرة عرض ٢٣,٥ شمالاً (مدار السرطان).

ويطلق العلماء على هاتين الفترتين الشتاء، والصيف باسم الانقلابين وخلالهما يختلف طول الليل والنهار على دوائر العرض المختلفة (نتيجة لميل

محور الأرض) وعلى ذلك فإن نقطة القطب الشمالى تكون مضيئة ونهاراً دائماً (طوله ٢٤ ساعة) خلال فصل الصيف الشمالى فى حين أن نقطة القطب الجنوبى تكون مظلمة وليلاً دائماً (طوله ٢٤ ساعة) خلال نفس هذا الفصل.

ونتيجة لدوران الأرض حول الشمس دورة كاملة خلال سنة تحدث الفصول الأربعة (الاعتدال الربيعى ٢١ مارس، والانقلاب الصيفى ٢١ يونيو، والاعتدال الخريفى ٢١ سبتمبر، والانقلاب الشتوى ٢١ ديسمبر) (شكل ٦).

أما القمر : فهو كويكب تابع للأرض ويتميز بمنظره الجميل الساطع فى الفضاء الكونى. ويعد جاليليو أول من شاهد القمر خلال التلسكوب الفلكى وميز ظواهره الكبرى وأعطاها أسماء مختلفة وقد أطلق جاليليو على المناطق الواسعة السوداء من سطح القمر والتى تشبه البحار اسم «ماريا» *Maria* (جمع كلمة *Mare* اللاتينية ومعناها بحر)، هذا على الرغم من أن هذه البحار (كما أثبت



(شكل ٦) حدوث الفصول الأربعة مع دوران الأرض حول الشمس

ذلك الانسان الذى نزل على سطح القمر فى يوليو عام ١٩٦٩) لا تحتوى على مياه. كما شاهد جاليليو السلاسل الجبلية الكبرى فوق سطح القمر، والفوهات البركانية ـ أكبرها حجماً فوهة كلافيوس *Clavius* والتى يبلغ قطرها نحو ١٤٦ ميل ـ وتجويفات السطح الناجمة عن تساقط الشهب والنيازك فوق سطح القمر (شكل ٧) وعلى ذلك قسم الأستاذ *W. L. Stokes* (1) سطح القمر الى إقليمين كبيرين هما :

أ – الأراضى القمرية المضرسة :

ويقصد بذلك مناطق المرتفعات وحقول الفوهات والنيازك والشهب، وتتميز هذه الأراضى بلونها الفاتح ويطلق عليها الفلكيون اسم أراضى القمر *Terrae*.

ب – الأراضى القمرية السهلية :

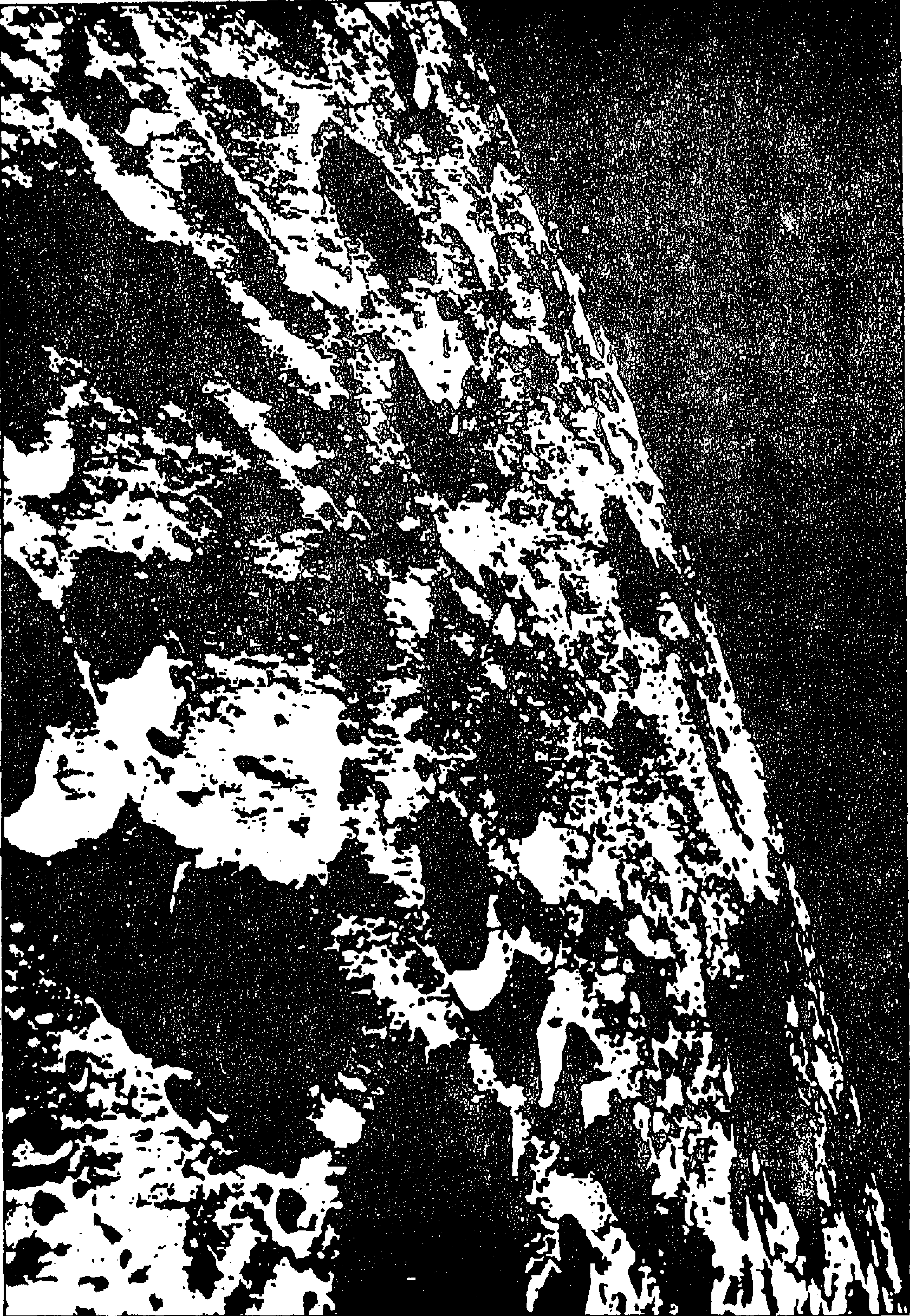
ويقصد بذلك مناطق السهول الواسعة الحوضية الشكل الكبيرة الحجم، وتتميز هذه الأراضى بلونها القاتم ويطلق الفلكيون عليها اسم بحار القمر *Maria*.

ويرجع الأستاذ ستوكس بأن مواد القمر لم تتعرض للانصهار الكلى، بل كانت بعض مواد القمر خلال نشأته الأولى شبه لزجة، ومن ثم انسابت ألسنة من اللافا فوق سطح القمر عملت على تغطية فوهات القمر الصغيرة، وتكوين بحار القمر.

وقد أوضح الأستاذ هويل *F. Hoyle* بأن الفوهات القمر فى المناطق المضرسة منه والتى تبلغ قطرها أكبر نحو ١٠٠ ميل (يزيد هذا القطر عن ١٠ أمثال أكبر فوهة بركانية على سطح الأرض)، قد تكونت نتيجة لتساقط واصطدام الشهب والنيازك بسطح القمر. وتتغطى بحار القمر بفرشات سميكة من تراب القمر الرمادى اللون. ويعتقد الفلكيون أن هذه الكميات الهائلة من

---

(1) William Lee Stokes, "Introduction to Geology" Prentice Hall (1968), p. 457.



(شكل ٧) الأراضى المضرسة على سطح القمر

الأتربة القمرية تكونت نتيجة لتعرض سطح القمر للأشعة فوق البنفسجية وأشعة (X) التى تنهال عليه من الشمس.

وتبعاً لدوران القمر حول نفسه فى محور أفقى، فإن الانسان (على سطح الأرض) لا يرى من القمر سوى وجه واحد فقط فى جميع الأوقات، ويظل وجه القمر الآخر مختفياً. ولكن بفضل القمر الصناعى الروسى الذى أطلق فى ٤ أكتوبر عام ١٩٥٩ تمكنت الأرض من إلتقاط مرئيات فضائية للوجه الآخر من القمر. وقد تبين بأن هذا الوجه (غير المرئى من موقع الأرض) لا يحتوى على الكثير من البحار القمرية «ماريا» التى تميز الجانب المواجه للأرض. وبفضل استخدام أجهزة التلسكوب الحديثة يمكن مشاهدة تفاصيل سطح القمر كمثل الذى ينظر الى سطح الأرض بالعين المجردة على بعد ٢٠٠ ميل. وحيث تبلغ كثافة القمر نحو ٣,٣ فى حين تبلغ كثافة الأرض نحو ٥,٥ فإن قوة الجاذبية على سطح القمر تعادل ١/٦ قوة الجاذبية على سطح الأرض.

ويدور القمر حول الأرض، ويرى الانسان أوجه القمر بأشكال مختلفة تبعاً لموقع القمر بالنسبة للأرض والشمس وحجم القسم المنير منه. فعندما يقع القمر بين الأرض والشمس يكون القمر فى المحاق، أما عندما تقع الأرض بين القمر والشمس فيكون القمر بدراً وعندما يتعامد المستقيمان الممتدان من مركز الأرض الى كل من مركز الشمس ومركز القمر يأخذ القمر وضعه الأول ويعرف باسم التربيع الأول والتربيع الثانى أو الأخير (شكل ٨).

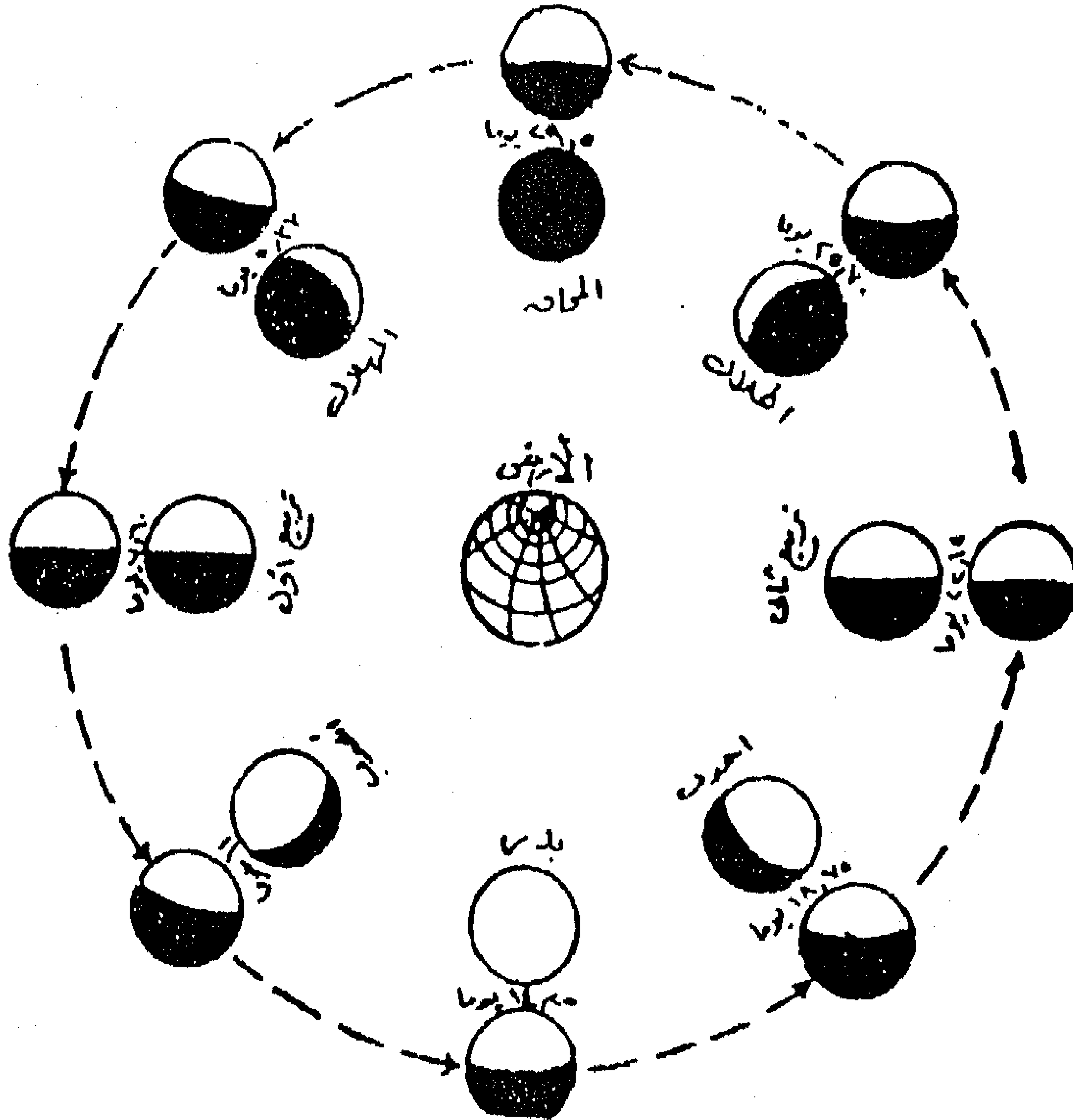
كسوف الشمس وخسوف القمر :

يتضح مما سبق أن كلاً من الأرض والقمر يستمدا الضوء من أشعة الشمس الساقطة عليهما. وعلى ذلك لا يرى الانسان القمر إلا إذا كانت هناك أشعة شمسية تسقط عليه لكى تضيئه وتنعكس على سطح الأرض.

ومن المعروف أن من خصائص الأشعة الضوئية أنها تنتشر فى خطوط مستقيمة فى الوسط المتجانس ويكون انتشارها على هيئة حزم تعرف بالحزم

الضوئية، فى حين أن الظلال تتكون نتيجة لاعتراض جسم ما معتم مجال أشعة الضوء. وهذا يفسر لنا أسباب حدوث عملية كسوف الشمس وخسوف القمر، حيث إن هاتين الظاهرتين الطبيعيتين ينتج عنهما احتجاب رؤية الشمس أو القمر من الأرض نتيجة لإنتشار أشعة الشمس المتوازية فى خطوط مستقيمة، ولأشكال ظل القمر على سطح الأرض وظل الأرض على سطح القمر.

على ذلك فإن كسوف الشمس *Solar Eclipe* عبارة عن احتجاب كل ضوء الشمس أو جزء منه عن الأرض، وهذا لا يحدث إلا إذا وقع القمر بين الأرض والشمس وأن تكون مراكز الأرض والشمس والقمر كلها على خط زوال واحد أى على استقامة واحدة. وفى هذه الحالة يحدث ثلاثة أنواع من الكسوف حسب مكان الملاحظ أو الراصد على الأرض وهى :



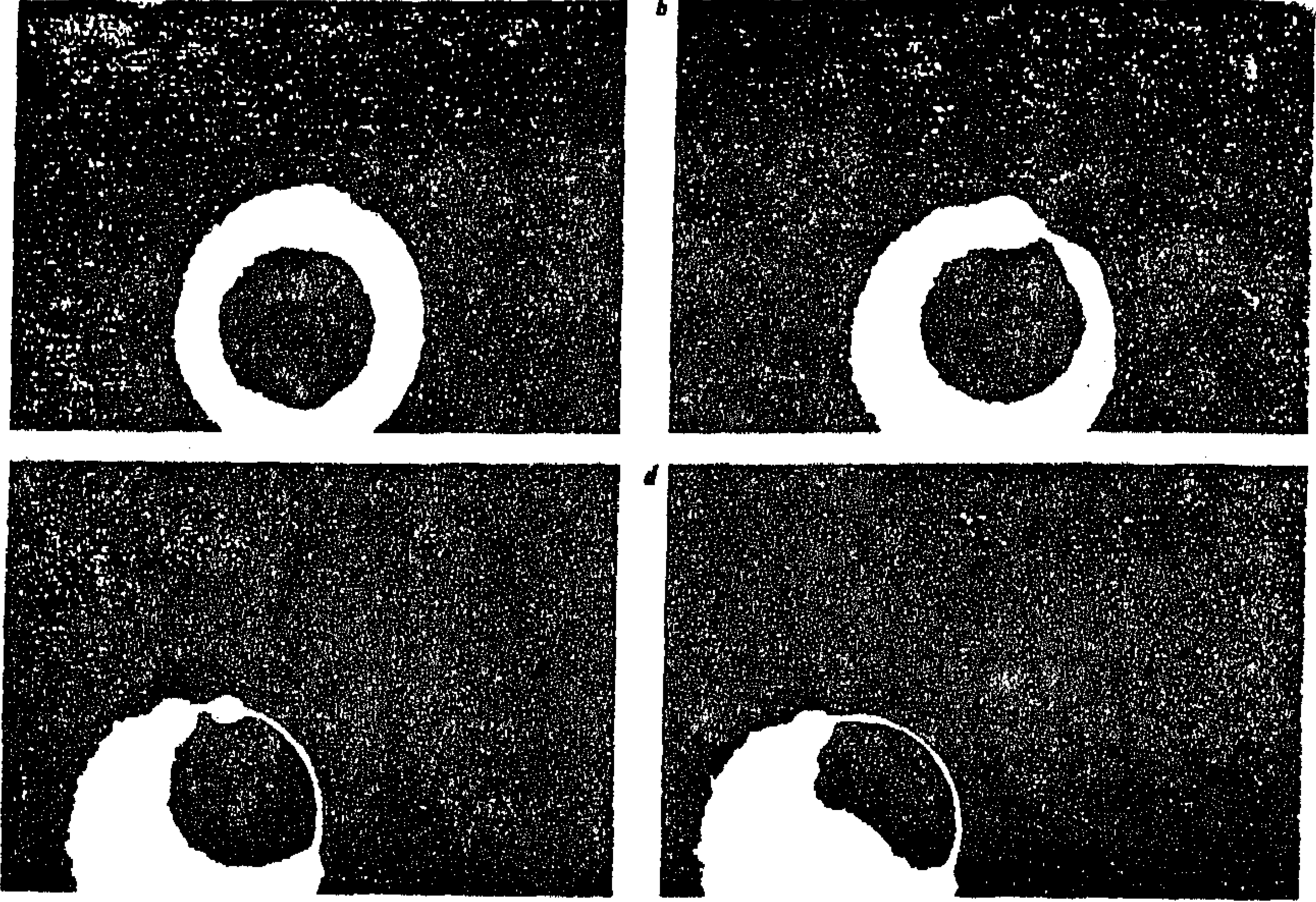
(شكل ٨) أوجه القمر ودورانه حول الأرض

أ - كسوف الشمس الكلى *Total Solar Eclipse* : ويحدث بالنسبة للجزء الذى يقع فى منطقة ظل القمر، وتختفى فيه الشمس عن الراصد تماماً.

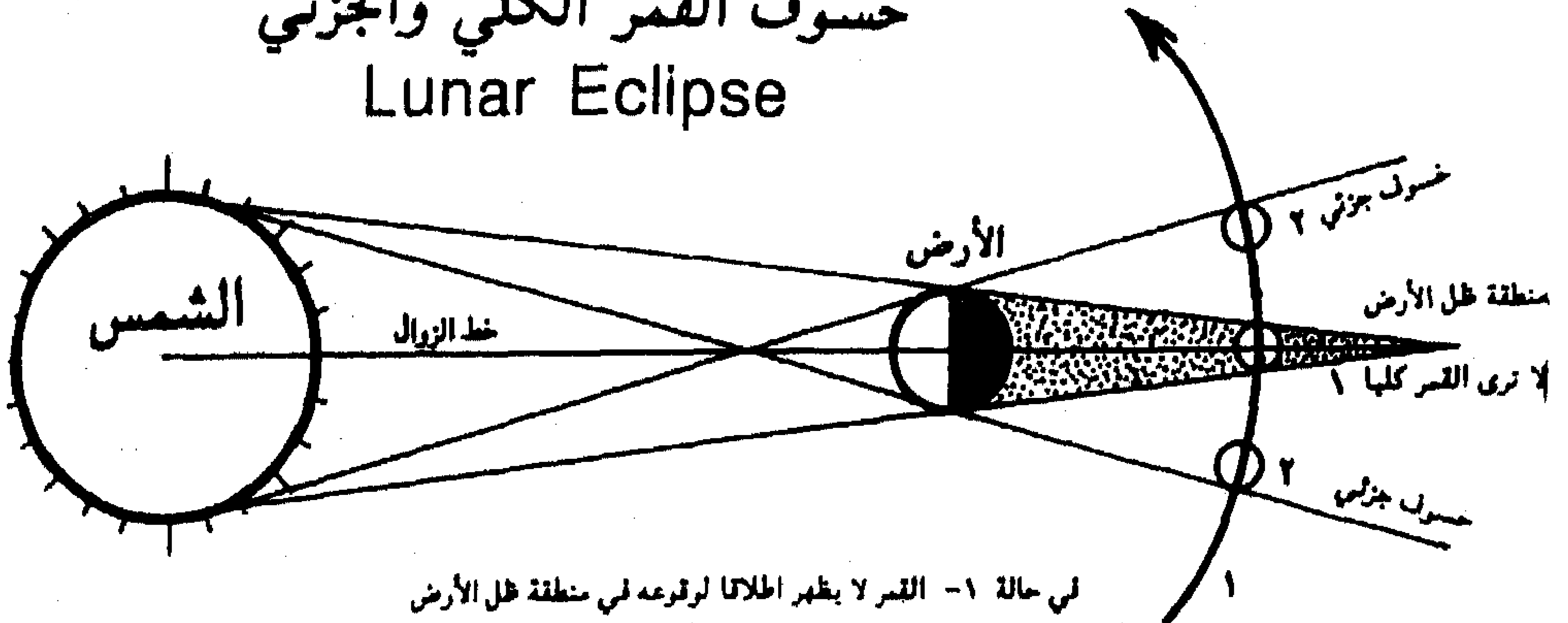
ب - كسوف الشمس الجزئى *Partial Solar Eclipse* : ويحدث بالنسبة لأجزاء الأرض التى تقع فى منطقة شبه الظل، وفيه يلاحظ الراصد جزءاً من الشمس ويحتجز بقية جسم الشمس خلف القمر (شكل ٩).

جـ - كسوف الشمس الحلقى *Annular Solar Eclipse* : يحدث فى أجزاء الأرض التى تقع فى امتداد مخروط ظل القمر، وتظهر الشمس للراصد على شكل قرص مظلم تحيط به حلقة مضيئة (شكل ١٠ وشكل ١١).

(شكل ٩) أشكال كسوف الشمس



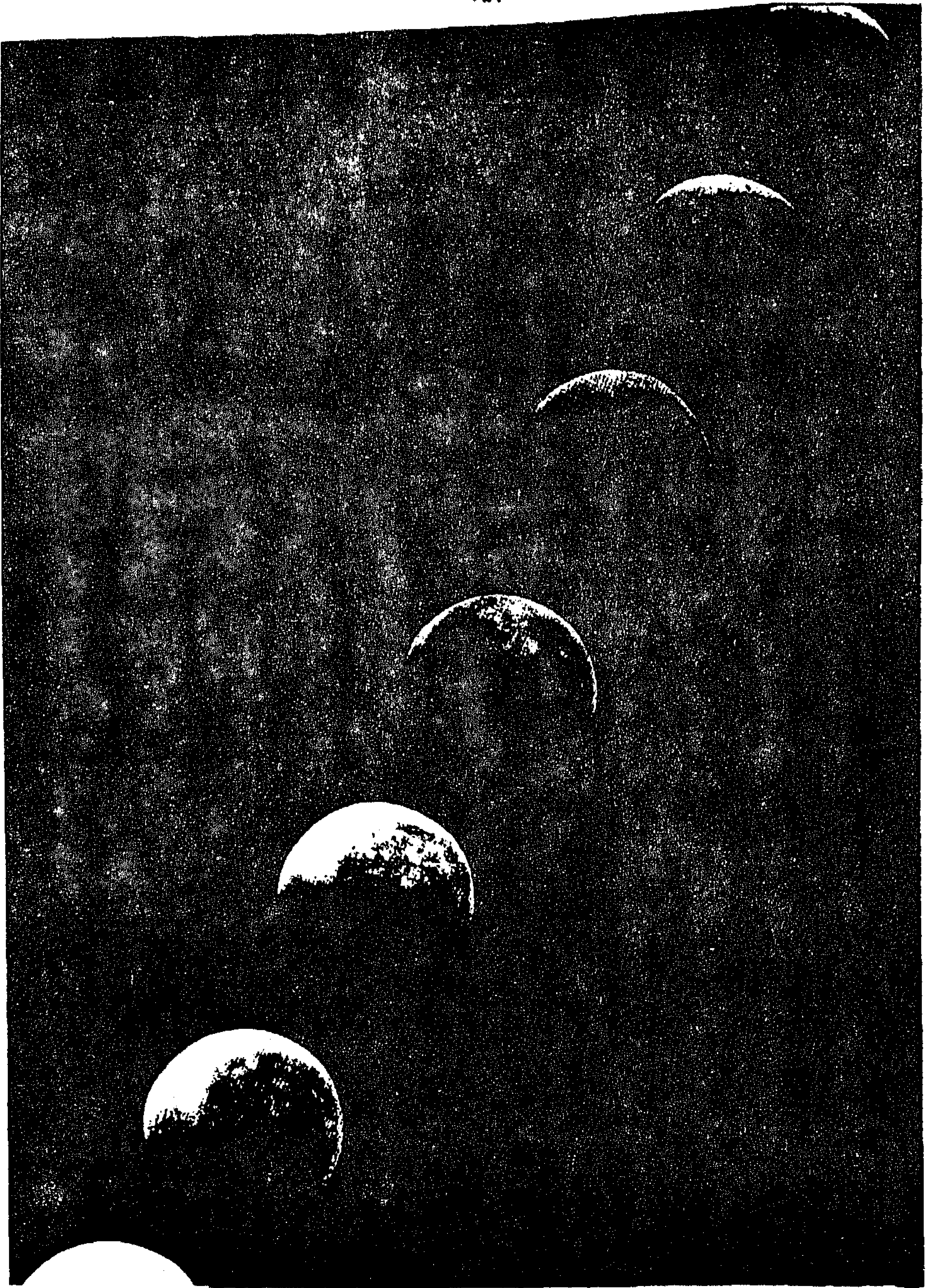
(شكل ١٠ - أ) كسوف الشمس فى ٣٠ مايو ١٩٨٤ كما صور فى ولاية جورجيا بالولايات المتحدة - لاحظ موقع القمر بالنسبة لقرص الشمس



في حالة ١- القمر لا يظهر اطلاقا لوقوعه في منطقة ظل الأرض ولا تسقط عليه أشعة الشمس الضوئية (خسوف كلي)

في حالة ٢- خسوف جزئي للقمر حيث يرى جزء من القمر نتيجة لوقوعه في منطقة شبه ظل الأرض

(شكل ١٠ - ب) أشكال خسوف القمر



(شكل ١١) تتابع اختفاء الأجزاء المضيئة من سطح القمر
أثناء حدوث خسوف القمر الكلى

ويقصد بخسوف القمر *Lunnar Eclipse* احتجاب كل ضوء القمر أو جزء من ضوئه عن الأرض. وهذا لا يحدث كذلك إلا إذا وقعت الأرض بين كل من الشمس والقمر عندما تكون مراكزهما على استقامة واحدة أى على خط زوال واحد (شكل ١١) وهناك نوعان من الخسوف هما :

أ - خسوف القمر الكلى *Total Lunar Eclipse* : وفيه يختفى القمر تماماً، ولا يظهر بالنسبة للراصد على سطح الأرض.

ب - خسوف القمر الجزئى *Partial Lunar Eclipse* : ويحدث عندما يقع جزء من القمر فى منطقة ظل الأرض، والجزء الآخر يقع فى منطقة شبه الظل، فيرى الملاحظ أن الجزء الأخير مضئ، أما الجزء الآخر الذى يقع فى منطقة الظل فيظهر معتماً (شكل ١١).

المريخ *Mars* :

يتشكل سطح المريخ بألوان مختلفة، فالقسم الأكبر منه ذو لون أبيض وقسم آخر صغير منه ذو لون قاتم، واللون العام للمريخ هو اللون الأحمر، ومن ثم يطلق عليه أحياناً اسم الكوكب الأحمر *The Red Planet*.

ويعد المريخ أنسب كواكب المجموعة الشمسية - بعد الأرض - من حيث إمكانية وجود حياة ما فوق سطحه، ويعزى السبب فى ذلك الى وجود غلاف من ثانى أكسيد الكربون والنيتروجين يحيط بالمريخ، ويؤكد العلماء كذلك أن القمم الجبلية فى المريخ مغطاة بقلنسوات جليدية ينصهر بعضها خلال فصل الصيف وتؤدى الى إنسياب المياه على شكل غطاءات مائية قد تساعد على وجود حياة ما، وخصوصاً فى المناطق الاستوائية من كوكب المريخ. وتبين من نتائج الدراسات الفلكية بأن الغلاف الجوى الذى يحيط كوكب المريخ لا يعد ساماً تماماً، ويتكون هذا الغلاف من نسبة مرتفعة من ثانى أكسيد الكربون (١٤ مثلاً لنسبة ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى المحيط بالأرض) وغازات النيتروجين. وعند شروق الشمس على سطح المريخ تبلغ درجة

حرارته نحو- ١٠٠° ف، وعند الظهر ترتفع الحرارة الى ٧٠٠° ف وتؤدى هذه الحرارة المرتفعة الى انصهار الثلج الرقيق السمك المتراكم فوق أعالى الجبال.

المشترى وزحل وأورانوس ونبتون :

تتشابه هذه المجموعة من الكواكب فى أنها تدور بسرعة من ناحية، كما أن لكل منها غطاء جوى يتألف أساساً من غازات الميثان والنشادر والهليوم والهيدروجين من ناحية أخرى، وفى عدم وجود ملامح لأى نوع من الحياة فوق أى كوكب منها.

ويتبين أن للمشترى ١٢ قمراً تابعاً له، وتبلغ كتلة المشترى نحو ٣٠٠ مثل لكتلة الأرض. ويزيد نصف قطره عن ١٠ أمثال نصف قطر الأرض، كما يزيد حجمه ١٠٠٠ مثل لحجم الأرض. ويدور المشترى حول نفسه بسرعة، حيث يتم دورة كاملة حول محوره كل ٩ ساعات و٥٥ دقيقة، ويظهر بالمشترى كثير من البقع الحمراء والتى شوهدت لأول مرة منذ عام ١٨٧٨م ولم تفسر نشأتها حتى الوقت الحاضر.

أما زحل فيميزه مظهره الجميل فى الفضاء الكونى والهالة الحلقية التى تحيط به (شكل ١٢). وتتألف هذه الهالة الحلقية من أجسام صغيرة كونية تدور جميعها حول كوكب زحل، ومن المحتمل أن بعض هذه الأجسام الصغيرة مغلف بطبقة من الثلج. ولكوكب زحل تسعة أقكار ولأحدها - كويكب تيتان *Titan* - غلاف جوى سميك ويكثر فيه الثلج وغاز النشادر وبعض الغازات الخفيفة، وتقدر الكثافة النوعية لزحل بنحو ٠,٧.

ومن دراسة الخصائص الطبيعية للشمس وكواكب المجموعة الشمسية استطاع تيرهار فى عام ١٩٤٨ م أن يستخلص أربع ملاحظات رئيسة تتلخص فيما يلى :

١ - أن مدارات كواكب المجموعة الشمسية عبارة عن مدارات إهليلجية، أى قريبة من الدائرية، وهى ظاهرة لاحظها كبلر (١٥١٧ - ١٦٣٠ م) من

قبل، هذا وأن الكواكب تقع فى مستوى واحد، وتدور جميعها حول الشمس فى اتجاه واحد من الغرب الى الشرق.

٢ – إختلاف المسافة بين الكواكب والشمس وأن لكل منها مداره الخاص به.

٣ – إختلاف الكثافة بين كل كوكب وآخر، بحيث تقل كثافة الكواكب بشكل عام مع البعد عن نجم الشمس.

٤ – تنقسم كواكب المجموعة الشمسية الى مجموعتين هما :

أ – الكواكب الداخلية : وتشمل عطارد والزهرة والأرض والمريخ. وتتميز بأنها كبيرة الحجم، بطيئة الدوران، عالية الكثافة ولبعضها عدد محدود من التوابع القمرية.

ويوضح الجدول الآتى العلاقة بين الكواكب السيارة الأربعة الداخلية من حيث متوسط بعدها عن الشمس وكتلتها وكثافتها.



(شكل ١٢) الحلقات الغازية حول كوكب زحل ويدخل فيها بقايا قطع صخرية وأتربة وثلوج

الكوكب السيار	متوسط البعد عن الشمس	الكتلـــة	متوسط الكثافة
عطارد	,٣٨٧	٠,٥٤	٤,٥ - ٥,٠
الزهرة	٠,٧٢٣	٠,٨١٣	٤,٨
الأرض	١,٠٠٠	١,٠٠٠	٥,٥
المريخ	١,٥٢٣	٠,١٠٨	٤,٠ - ٤,٢

ب - **الكواكب الخارجية** : وتشمل المشترى وزحل وأورانوس ونبتون، وهى كبيرة الحجم، محدودة الكثافة، سريعة الدوران ولبعضها عدد كبير من التوابع القمرية.

ويوضح الجدول الآتى العلاقة بين هذه الكواكب السيارة الخارجية أو الكبرى من حيث متوسط بعد كل منها عن الشمس واختلاف كتلتها وكثافتها.

الكوكب السيار	متوسط البعد عن الشمس	الكتلـــة	متوسط الكثافة
المشترى	٥,٢٠٣	٣١٨,٣٥	١,٣٥
زحل	٩,٥٣٩	٩٥,٣	٠,٧١
أورانوس	١٩,١٩٠	١٤,٥٨	١,٥٦
نبتون	٣٠,٠٧١	١٧,٢٦	٢,٤٧

ومن نتائج هذه الدراسات الفلكية للمجموعة الشمسية يمكن أن نلخص الآتى :

(١) إختلاف المسافة بين كل من الكواكب السيارة والشمس :

تقع الكواكب السيارة السابقة الذكر فى مواقع مختلفة وتبعد عن الشمس بمسافات هائلة الإمتداد.

وإذا إتخذنا المسافة التى تقع بين مركزى الأرض والشمس والتى تبلغ نحو ٩٣ مليون ميل وإعتبرناها وحدة قياس فلكية للمسافة *Astronomical Unit*

أى تساوى ١ فإننا سنجد أن الكواكب الأخرى تبتعد عن الشمس بالوحدات الآتية : عطارد ٠,٣٩ وحدة - الزهرة ٠,٧٢ وحدة - زحل ٩,٥٤ وحدة - أورانوس ١٩,١٩ وحدة - نبتون ٣٠,٠٧ وحدة - بلوتو ٤٩,٤٦ وحدة.

(٢) خصائص دوران كل كوكب حول مداره، وحول الشمس :

يرجع الفضل الى العالم الفلكى كبلر (١٥١٧ - ١٦٣٠) فى تعزيز معلوماتنا عن دوران كل من كواكب المجموعة الشمسية حول محورها من ناحية وحول جسم الشمس من ناحية أخرى، وقد أكد هذا الباحث بأن لكل من هذه الكواكب مداره الخاص حول الشمس، وأغلب هذه المدارات بيضاوية أو أهليلجية الشكل، وليست دائرية الشكل تماماً كما إعتقد بذلك كوبرنيكوس من قبل.

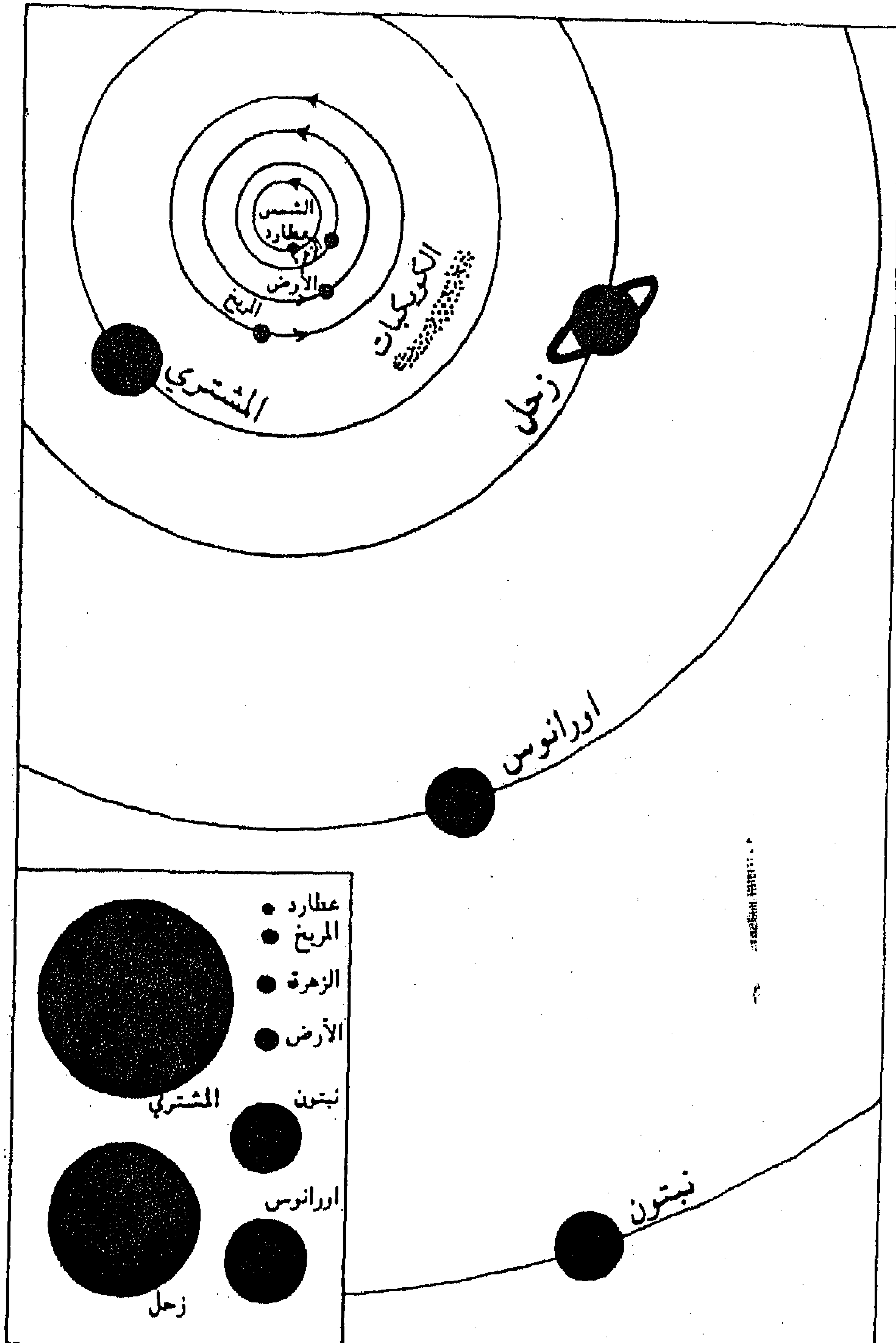
ويلاحظ أن الكواكب التى تقع قريبة من الشمس تتم دورة كاملة حول الشمس فى مدة زمنية أقصر نسبياً من تلك التى تقع بعيدة عن الشمس فعطارد يتم دورة كاملة واحدة حول الشمس فى مدة ٨٨ يوماً، والزهرة فى ٢٢٥ يوماً، والأرض فى مدة سنة، فى حين يتم أورانوس دورة واحدة حول الشمس فى مدة تبلغ نحو ٢٤٧ سنة. هذا ويسبح عطارد فى مداره بسرعة تبلغ نحو ٣٠ ميلاً فى الثانية، والأرض بنحو ١٨,٥ ميلاً فى الثانية، والمشترى بنحو ٨ أميال فى الثانية، وأورانوس بنحو ٤ أميال فى الثانية (شكل ١٣) ويوضح الجدول الآتى البعد بين كل من كواكب المجموعة الشمسية عن الشمس، وطول الفترة الزمنية التى يستغرقها كل كوكب عند دورانه دورة واحدة حول الشمس، ومتوسط سرعة دوران كل نجم فى مداره بالأميال فى الثانية [(١)].

(٣) إختلاف حجم الكواكب :

تختلف كواكب المجموعة الشمسية فيما بينها من حيث الحجم. وتتميز

---

(1) Smart, M., "The origin of the Earth" A. Pelican Book London 1959, p. 28.



(شكل ١٣) كواكب المجموعة الشمسية ودورانها حول الشمس
لاحظ إختلاف البعد بين كل منها وبين الشمس وكذلك اختلاف حجم كل منها

الكوكب	البعد عن الشمس: على أساس البعد بين الشمس والأرض يساوى ١	البعد عن الشمس: ملايين الأميال	طول فترة الدورة الواحدة لكل كوكب (ميل / ثانية)	متوسط سرعة دوران كل كوكب (ميل / ثانية)	المحيط الخارجى لكل كوكب
عطارد	٠,٣٨٧	٣٦	٨٨ يوم	٣٠	
الزهرة	٠,٧٢٣	٦٧	٢٢٥ يوم	٢٢	لا يوجد سحب كثيفة وثانى أكسيد الكربون
الأرض	١,٠٠٠	٩٣	سنة	١٨,٥	غلاف غازى مكون من الأكسجين والنتروجين
المريخ	١,٥٢٤	١٤٢	١,٨٨ سنة	١٥	نادر
المشترى	٥,٢٠٣	٤٨٤	١١,٨٦ سنة	٨	سحب كثيفة وغازات متوهج
زحل	٩,٥٣٩	٨٨٧	٢٩,٤٦ سنة	٦,٥	غازات الأيدروجين والهليوم والميثان
أورانوس	١٩,١٩٠	١٧٨٥	٨٢,٠٢	٤	سحب كثيفة
نبتون	٣٠,٠٧٠	٢٧٩٧	١٦٤,٨٠	٣,٥	سحب كثيفة
بلوتو	٣٩,٤٦٠	٣٦٧٠	٢٤٧,٧٠	٣	لا يوجد

الكواكب القريبة نسبياً من الشمس (عطارد والزهرة والأرض والمريخ) بكونها صغيرة الحجم. ويعد كوكب الأرض أكبر هذه المجموعة حجماً، ومع ذلك لا يزيد المتوسط العام لقطر الأرض عن ٧٩٢٧ ميل أى ما يعادل ١/ ٣٠٠٠٠ من قطر الشمس [١] . ويبلغ قطر عطارد نحو ٣٠٠٠ ميل. أما مجموعة الكواكب البعيدة نسبياً عن الشمس (المشترى وزحل وأورانوس وبلوتو) فتتميز بكبر حجمها حيث يبلغ قطر أورانوس ٣١,٠٠٠ ميل والمشترى نحو ٩٠,٠٠٠. وإذا اتخذنا قطر الأرض وإعتبرناه وحدة قياس أى يساوى ١ لتبين أن قطر عطارد يبلغ نحو ٠,٣٨ وحدة، والزهرة ٠,٩٧ وحدة، والمريخ ٠,٥٠ وحدة والمشترى ١١,٠ وحدة، وزحل ٩,٥٠ وحدة، وأورانوس ٤,٠٠ وحدات، ونبتون نحو ٣,٨٠ وحدة.

(٤) إختلاف كتلة الكواكب :

تتنوع كتلة الكواكب تبعاً لإختلاف حجم كل منها، ومن ثم تعد الشمس أكبر الكواكب كتلة. ولو اتخذنا كتلة الأرض كوحدة للقياس لأصبح كتلة القمر التابع لها نحو $\frac{١}{٨١}$ من كتلة الأرض فى حين تزيد كتلة الشمس عن ٣٣٣,٤٠٠ مثلاً لكتلة الأرض. ويلاحظ أن الكواكب التى تقع قريبة من الشمس والصغيرة الحجم تتميز كذلك بصغر كتلتها فتبلغ كتلة عطارد $\frac{١}{٢٧}$ والزهرة $\frac{٥}{٦}$ والمريخ $\frac{١}{٦}$ من كتلة الأرض. أما مجموعة الكوكب التى تقع بعيدة نسبياً عن الشمس والكبيرة الحجم تتميز بكبر كتلتها بالنسبة لكتلة الأرض. فتبلغ كتلة زحل نحو ٩٥ والمشترى نحو ٣١٨ مثل لكتلة الأرض.

(٥) اختلاف كثافة الكواكب :

أكدت الدراسات الفلكية أنه لو اتخذنا الكثافة العامة للمياه كوحدة للقياس المقارن لتحديد كثافة كتل كواكب المجموعة الشمسية لإتضح أن كثافة الكوكب التى تقع بعيدة عن الشمس والصغيرة الحجم أكبر بكثير من كثافة تلك الكواكب التى تقع بعيدة عن الشمس والكبيرة الحجم. وعلى سبيل المثال يتضح

(1) Holmes, G. D., "Geology", N. Y., 1962. p. 15.

أن الكثافة العامة للأرض تبلغ ٥,٥٢ والزهرة ٥,٢١، والقمر ٣,٣٤، فى حين تبلغ الكثافة العامة لكوكب المشترى نحو ١,٣٣، وزحل ٠,٦٩ وأورانوس ١,٣٦، وبلوتو ١,٣٢ ومعنى ذلك أن هذه الكواكب الأخيرة تتألف من غازات ومواد خفيفة الوزن قليلة الكثافة.

الأقمار التابعة لبعض كواكب المجموعة الشمسية :

لم يعرف الفلكيون أن لبعض كواكب المجموعة الشمسية أقماراً تابعة *Moons or Satellites* لها وتدور حولها فى فلكها إلا بعد أن اكتشفت جاليليو منظاره الفلكى فى عام ١٦١٠ م، وشاهد لأول مرة الأقمار الأربعة الرئيسية التابعة لكوكب المشترى. وبعد تطور صناعة أجهزة الرصد اللفكية تحقق العلماء من حقيقة الأقمار التابعة لبعض كواكب المجموعة الشمسية، بل وشاهدوا ١٢ قمراً تتبع كوكب المشترى، وتسعة أقمار تابعة لكوكب زحل. وكوكب الأرض له قمر واحد يعرف باسم «القمر»، ويبعد عن الأرض بنحو ٢٤٠,٠٠٠ ميل ويدور فى مدار برتقالى الشكل حول الأرض فى مدة تستغرق نحو ٢٧,٣ يوم. ويبلغ قطر القمر نحو ٢,١٦٠ ميل.

الكوكب	قطر كل كوكب (ميل)	طول الفترة الزمنية لدوران كل كوكب دورة واحدة حول نفسه	عدد الأقمار التابعة لكل كوكب	كتلة كل كوكب بالنسبة لكتلة الأرض	كثافة كل كوكب بالنسبة لكثافة المياه
الشمس	٨,٦٥,٠٠٠		—	٣٣٣,٤٠٠	١,٤١
القمر	٢,١٦٠	١٢ ساعة، ٢٦ دقيقة	—	٨١/١	٣,٣٤
عطارد	٣,٠٠٠		—	٢٧/٠	٣,٧٣
الزهرة	٧,٦٠٠		—	٦/٥	٥,٢١
الأرض	٧,٩١٠	٢٢ ساعة، ٥٦ دقيقة	١	١	٥,٥٢
المريخ	٤,٢٠٠	٢٤ ساعة، ٣٧ دقيقة	٢	٩/١	٣,٩٤
المشترى	٨٦,٠٠٠	٩ ساعات، ٥٠ دقيقة	١٢	٣١٨	١,٣٤
زحل	٧٠,٠٠٠	١٠ ساعات، ١٤ دقيقة	٩	٩٥	٠,٦٩
أورانوس	٣٠,٩٠٠	١٠ ساعات، ٤٨ دقيقة	٥	١٤ $\frac{٣}{٥}$	١,٣٦
نبتون	٣٣,٠٠٠	١٥ ساعة، ٤٠ دقيقة	٢	١٧ $\frac{١}{٣}$	١,٣٢
بلوتو	(غير معروف)		—	—	—

الشهب والنيازك والمذنبات

تسبح في الفضاء السماوي للمجموعة الشمسية أجسام كونية أخرى لا تنتمي مداراتها الى المدارات الإهليلجية المنتظمة لكواكب المجموعة الشمسية حول الشمس، بل هي تجري في مدارات غير منتظمة وتندفع بسرعة شديدة جداً كالقذائف النارية في اتجاهات مختلفة ويطلق عليها اسم الشهب *Meteors* والنيازك *Meteorites* والمذنبات *Comets*. وتتمثل هذه الأجسام الكونية الغريبة في السماء الدنيا القريبة من كوكب الأرض، وينتج عن احتراقها وتفتتها لهب شديد. وقد أسهم الغلاف الغازي وحزام «فان إلن» الذي يحيط بكوكب الأرض على حفظ الأرض وسلامتها من الأضرار التي قد تنتج عن تساقط بقايا الشهب والنيازك ومفتتاتها المحرقة على سطح الأرض. وإذا تصادف سقوط قطعة صخرية صغيرة الحجم من النيازك على سطح الأرض فإنها تتسبب في تكوين أحواض عميقة واسعة، وتصهر مفتتات الشهب والنيازك النارية المحرقة صخور قشرة الأرض بدرجة أقوى من تأثير القنابل المتفجرة النووية التي يعرفها البشر.

وتسبح الشهب في مدارات غير منتظمة الاتجاه وأغلبها طولية الشكل وعندما تقترب الشهب من الشمس تتبخر كميات كبيرة من موادها بفعل احتراقها، ويشتد لمعانها في الفضاء السماوي، وقد لا يتبقى من أجسامها بعد احتراقها سوى قلبها المركزي (١).

وتشبه النيازك الشهب في أنها أجسام كونية آتية من الفضاء السماوي الخارجي *Outer Space*، وقد تتساقط بقاياها فوق سطح كوكب الأرض، إلا أن النيازك تندفع بسرعة هائلة في الفضاء السماوي وتندفع منها ألسنة نارية ملتهبة حارقة، ويطلق العلماء عليها اسم النجوم النارية *Shooting Stars*.

---

(١) حسن ابو العينين «المرجع السابق» (١٩٨٨) ص ٤٧ - ٥٣.

والنيازك تعد أكبر حجماً نسبياً من الشهب، وعلى ذلك لا تحترق مواد النيازك كلية أثناء عبورها طبقات الغلاف الجوى، بل قد تصل بعض أجزاء من موادها الى سطح الأرض. ويختلف وزن بقايا النيازك التى تصل الى سطح الأرض من بضعة أرطال الى بضعة أطنان، وكان من أكبر النيازك حجماً تلك التى عثر عليها فوق جزيرة جرينلند وكان يبلغ وزنها نحو ٢٦ طناً، وقد حفظت بقايا تلك النيازك فى متحف التاريخ الطبيعى الأمريكى بنيويورك.

وتشاهد المذنبات بواسطة أجهزة الرصد الفلكية المقربة من فوق سطح الأرض على شكل بقع سديمية مضيئة، وتشتد درجة توهجها فى منطقة رؤوسها، كما يمتد من أجسامها ألسنة أو ذيول منيرة فى الفضاء. وتدور المذنبات حول الشمس فى مدارات مختلفة وبسرعة هائلة إلا أنها تتفاوت من مجموعة الى أخرى. فيدور بعض المذنبات فى مدارات بيضاوية الشكل، فى حين يدور بعضها الآخر فى مدارات شبه مستطيلة وأخرى فى مدارات شبه بيضاوية الشكل. ومن أجمل المذنبات تلك التى شوهدت موهجة فى الفضاء الكونى فى عام ١٩٠٨ م وعرفت برسم مذنبات مورهاوس *Morehouse's Comet* . وقد أوضحت المشاهدات الفلكية أن المسافة الفاصلة بين هذا المذنب والشمس تختلف من فترة الى أخرى تبعاً لموقف المذنب فى مداره البيضاوى الشكل. ففى بعض الأحيان يظهر المذنب على بعد نحو ١٤ مليون ميلاً فقط عن الشمس (كما حدث عام ١٩١٠ م) فى حين يبلغ بعد أقصى موقع للمذنب مورهاوس عن الشمس نحو ٣٠٠٠ مليون ميل.

تمدد الكون *Expansion of the Universe* :

يتبين مما سبق أن المجرات والنجوم فى الفضاء لا يصدر عنها صوت، بل ينبعث منها ضوء يشع فى الفضاء السماوى بسرعة ٣٠٠,٠٠٠ كم/ث. وبإستخدام المطياف الضوئى (سبكتروسكوب) تبين للعلماء أن امتداد ضوء النجوم يظهر مائلاً الى الطرف الآحمر فى الطيف الضوئى.

واستنتج العلماء أن هذه النجوم آخذة فى الابتعاد عن الأرض، وأن بعضها يبتعد عن البعض الآخر كذلك، أى أن الكون كله آخذاً فى التمدد والاتساع وكأنه بالونة تنتفخ انتفاخاً(١).

وأكد علماء الفلك أن الكون يتمدد ويشتمل هذا التمدد النطاق الواسع لا المحلى، فأبعاد مجموعتنا الشمسية لا تتمدد، وكذلك المسافات داخل مجرتنا والمسافات داخل مجموعتنا المحلية. ولكن تبين أن التمدد يبدأ بعد حدود مجموعتنا المحلية أى بعد نحو نصف مليون بارسك. فالمجرة العملاقة (م ٨١) التى تقع على بعد ٢,٥٠٠,٠٠٠ بارسك تبتعد عنا بسرعة تبلغ ٨٠ ميلاً / ث. ومجرات سحابة السنبلة التى تقع على بعد ١٠ مليون بارسك تبتعد عنا بسرعة ٧٥٠ ميلاً / ث. ويبتعد عنا التجمع المجرى بالإكليل الشمالى بسرعة تزيد على ١٣ ألف ميل / ث. فى حين أن تجمع الشجاع الذى يبتعد عنا بنحو ٤٠٠ مليون بارسك يبتعد عنا بسرعة ٣٨ ألف ميل / ث.

---

(١) أ- محمود القاسم : «الإسلام والحقائق العلمية»، دار الهجرة - بيروت - الطبعة الثانية (١٩٨٦ م)، ص ١٢٢ - ١٢٧.

ب - «الكون»، الموسوعة العلمية الحديثة - تأليف كولين رونان - بيروت (١٩٨٠ م)، ص ٨٠.

الفصل الثانى
نشوء الكون وكوكب الأرض

منذ ميلاد الإنسان على سطح الأرض وقد أخذ يتأمل ويفكر ويستبصر فى كل ما يحيط به من سماء وأرض، وما يحدث له من كوارث طبيعية، وما يقع عليه بصره فى بيئته وحوله من ظواهر غريبة. وانشغل الفكر الإنسانى منذ ذلك الحين وحتى اليوم بكيفية نشوء الكون ومعرفة أسراره وخباياه التى يقف علمه المحدود أمامها عاجزاً مقهوراً وحائراً مبهوراً. وكلما ازداد الإنسان معرفة وعلماً، سرعان ما تنكشف له بعض الظواهر والشواهد التى لم يكن يعرفها من قبل، والتى لا يجد لها تفسيراً يقينياً يبدد الغيوم والغموض حول قضية نشوئها وعملها.

وحتى آلاف السنين بعد ظهور الإنسان على سطح الأرض ظل يعتقد أن الكون يتألف فقط من الأرض الفسيحة الأرجاء التى يعيش عليها، ومن الشمس والقمر والنجوم التى تسطع وتتلألأ فى السماء. ومع تقدم علم الفلك واختراع آلات الرصد المطورة، واكتشاف المراقب الحديثة ذات المرايا العاكسة للضوء وتلك اللاسلكية (الرادية)، أدرك الإنسان أن كوكب الأرض ما هو إلا كوكب صغير جداً بالنسبة للمجموعة الشمسية، وأن هذه المجموعة الأخيرة هى إحدى بلايين المجموعات الشمسية الأخرى فى الكون. وأصبحت المشكلة التى يواجهها علماء الفلك اليوم تتمثل فى وفرة المعلومات التى تحتاج منهم الى دراسة وتحليل وتفسير وتعليل وليست ندرة المعلومات كما كان عليه الحال من قبل.

وأسهم تقدم علوم أخرى مثل الرياضيات والفيزياء والكيمياء الى جانب إختراع الأدوات التقنية الحديثة المستخدمة فى الدراسات الفلكية فى معرفة

بعض خبايا الكون ونظامه وعناصره التى يتألف منها. ومع ذلك ظلت القضايا الجوهرية التى تتعلق بكيفية نشوء الكون وأصل مادته الأولية التى تكون منها موضع جدل وخلاف بين العلماء. ولم يستطع العلم أن يقدم فى هذا الشأن حتى الآن سوى اقتراحات وافتراضات ونظريات ظنية قابلة للتغيير والتعديل من آن إلى آخر.

تطور الفكر البشرى حول نشأة الكون :

إبان الحضارات البشرية القديمة، كان الإنسان يخشى الظواهر الطبيعية فى الكون، وكان يقدس الشمس والقمر والنجوم والرياح والبحار والعواصف.

واعتبرت الحضارات القديمة ومن بينها الفرعونية والبابلية والإغريقية والرومانية أن عناصر الكون أزلية سرمدية لا تتعرض للفناء، وأن الصراع مستمر ودائم بين كل منها وخاصة بين العناصر السماوية وتلك التى على سطح الأرض.

وفى العهد الإغريقى منذ القرن الخامس قبل الميلاد، برز فى بلاد اليونان منهج الفلسفة الطبيعية، وعنى أصحاب هذه المدرسة بدراسة أصل هذا الكون، والمادة الأولية التى نشأ عنها، فلا يخلق فى رأيهم من العدم وجود. وعرفت هذه المدرسة الفكرية باسم المدرسة الأيونية وكان من بين أصحابها طاليس الذى اعتبر العنصر الرطب أو الماء هو المادة الأولى التى نشأ عنها الكون. فى حين رأى انكسيمانس (١) أنها الهواء، واعتقد هيراقليطس أنها النار أو النار المعنوية التى تشتعل فى العقول والنفوس والقلوب، وهى مصدر كل الطاقات. أما انبادوقليس فقد عدل عن مبدأ أو عنصر واحد لأصل الكون، ونادى بالعناصر الأربعة مجتمعة كلها وهى النار والهواء والتراب والماء.

وهناك رأى آخر تزعمه أصحاب المدرسة الفكرية الإيلية وعلى رأسهم

---

(١) د. يحيى هويدى «تطور الحياة الفكرية العامة ...»، الباب الأول من كتاب «تطور الفكر الفلسفى» مطبوعات جامعة الإمارات العربية المتحدة (١٩٩١ م) ص ١٣ – ١٢٦.

بارمنيدس وزينون وميلسوس، ونادت هذه المدرسة بظاهرة الثبات أو الاستقرار فى الكون. أما المدرسة الفيثاغورية فقد اعتنقت فكرة أن مظاهر التناسب والنظام التى نلاحظها فى عالم الرياضيات الزاخر بالأعداد والأشكال الهندسية إنما يشبه تماماً ما يتمثل فى الكون من تناسب ونظام بين عناصره المختلفة، وهكذا برزت لهم فكرة أن الكون هو عدد ونغم.

وفى هذه الفترة نفسها من الزمن - من القرن الخامس الى القرن الرابع قبل الميلاد - ظهرت مدارس فكرية أخرى فى بلاد اليونان، وكان منها مدرسة التصورات العقلية وكان من أظهر أصحابها سقراط وأفلاطون وأرسطو. وقد حكم سقراط العقل فى أفعال الإنسان وسلوكياته. أما أفلاطون (أحد تلاميذ سقراط) فقط ربط مهمة الإنسان بالمعرفة، وتعريف الإنسان فى نظره هو «الإنسان العارف»، فحبه للإستطلاع والمعرفة يدفعه الى التأمل والتبصر فيما حوله.

أما أرسطو فقد استبدل بنظرية الصور الذهنية البشرية نظريته فى المعرفة التى تستند على تلازم الصور بالمادة أو الهيولة، فأية ظاهرة فى الكون مكونة من صورة ومادة. ولكى يفسر قوانين الحركة فى كل أجزاء الكون استخدام ما أسماه بقانون «القوة والفعل» فكل كائن حى، حياته بالفعل ولكنه ميت أو فان بالقوة.

وخلال فترة العصور الوسطى فى أوربا حتى بداية القرن السادس عشر ظل التفكير الدينى يهيمن على التفسيرات التجريبية العلمية المختلفة. وكان يعتقد أن الأرض هى فقط المناسبة لسكنى الإنسان، ومن ثم فإن كوكب الأرض يتوسط كواكب المجموعة الشمسية (تلك الكواكب التى كانت معروفة خلال هذه الفترة هى عطارد والمريخ والمشترى وزحل والقمر)، وأن الكواكب التى تقع على يمين الأرض والأخرى التى تقع على يسارها لا تصلح لحياة الإنسان إما لشدة حرارتها وسخونة أجسامها أو تبعاً لشدة تجمدها وبرودتها. وعرفت تلك النظرية التى تتوسط الأرض فيها كواكب المجموعة الشمسية

باسم *Geocentric Theory of The Universe* . ويعتقد بأن الجغرافى الإسكندرى كلاديوس بطليموس، هو واضع أساس تلك النظرية، ومن ثم يطلق عليها البعض اسم نظرية بطليموس عن الكون (). *Ptolemaic Theory Of The Universe*.

ولكن بعد التقدم التدريجى فى علوم الفلك، وتطورها المستمر نتيجة لزيادة المعرفة عن أسرار هذا الكون وخباياه انتشرت أفكار العالم الفلكى الكبير نيكولاس كوبرنيكوس *N. Copernicus* (١٤٧٣ - ١٥٤٣ م). وقد أكد هذا العالم أن الشمس هى النجم العظيم الحجم وأكبر أفراد المجموعة الشمسية، ومن ثم يسهل رؤيتها بالعين المجردة على الرغم من عظم طول المسافة بينها وبين كوكب الأرض. كما أكد كذلك أن جميع أفراد المجموعة الشمسية تدور حول الشمس الأم فى مدارات خاصة دائرية الشكل وعرفت نظرية كوبرنيكوس باسم «نظرية الشمس التى تتوسط الكون» *Heliocentric Theory of the Universe*. وأعلن كوبرنيكوس بأن كوكب الأرض لا يتوسط المجموعة الشمسية، بل يقع فيما بين كوكب الزهرة وكوكب المريخ. وحقق كل هذه الآراء الفلكية فى كتابه المعروف باسم «دورة الفلك» *Volutionnibus Orbium Colestium*. وعمل على تحقيق أفكار كوبرنيكوس ونشرها عدد من تلاميذه ومن بينهم بيترو بومبانوزى *Pietro Pompanozzi*، وبرناردينو تيلثيو *Bernardiono Telesiio* وجوردانو برونو *Giordano Bruno*، إلا أن جميعهم تعرضوا للإهانات المزرية، وللسجن، بل وللقتل والحرق تبعاً لمعارضتهم أفكار الكنيسة ورجال الدين إبان تلك الفترة من العصور الوسطى.

وقد عمل كبلر (١٥١٧ – ١٦٣٠ م) على تعديل نظرية كوبرنيكوس، وأكد بأن مدار معظم الكواكب يبدو إهليلجياً أو بيضاوى الشكل وليس مداراً دائرياً

---

(١) د. حسن ابو العينين «كوكب الأرض» الطبعة العاشرة - الإسكندرية، (١٩٨٨ م)، ص ٥٨ – ٧٧، والحادية عشرة (١٩٩٦) ص ١٢٠.

تماماً كما رجح كوبرنيكوس من قبل. كما تحقق كبلر من أن حركة الشمس الظاهرية اليومية ليست سوى نتيجة لحركة الأرض اليومية حول محورها.

ولكن بعد أن اكتشف جاليليو (١٥٦٤ - ١٦٤٢ م) جهاز المنظار الفلكي فى عام ١٦٠٩ م، اتسعت المعرفة عن الكون والكواكب الفضائية، وأمكن لجاليليو أن يحقق أفكار كوبرنيكوس النظرية بصورة فعلية عملية غير قابلة للشك. واكتشف جاليليو خلال تلك الفترة الأقمار التابعة لكوكب المشترى، وشاهد أربعة أقمار رئيسة تحيط بالمشترى كما يحيط القمر بالأرض.

ثم خطت العلوم الفلكية خطوة سريعة الى الأمام بعد ظهور نظرية نيوتن (١٦٤٣ - ١٧٢٧) وقانونه المشهور عن الجاذبية بين الأجسام المختلفة تبعاً لكثافتها وطول المسافة الفاصلة بين كل جسم وآخر. وأوضح نيوتن أن عملية الجذب بين النجوم والكواكب حسب تباين أحجامها وبعدها عن بعضها البعض هى التى تنظم سير الكواكب والأقمار والنجوم فى الفضاء الخارجى.

ومنذ بداية القرن الثامن عشر بدأ يتبلور علم الفلك وعلم الجيولوجيا وتحللت دراساتهما من المؤثرات الدينية، وتعاليم الكنيسة، واعتمدت أبحاث هذين العلمين على المناهج العلمية التجريبية المختلفة. وفى عام ١٧٥٥ م ظهرت نظرية إيمانويل كانت *Immnuel Kant* [(١)] وقد كان هذا العالم إبان هذه الفترة أستاذاً للفلسفة وعلم الفلك فى جامعة كونجزبرج *Konigsberg*، وأوضح «كانت» أن المجموعة الشمسية كانت تتركب كلها من مجموعة هائلة من أجسام صلبة معتمة صغيرة الحجم جداً، تسبح بسرعة هائلة، وتبعاً لاصطدام هذه الأجسام واحتكاك أجسامها بعضها بالبعض الآخر، تولدت حرارة شديدة عملت على صهر هذه الأجسام، ثم تكوين السديم الذى أخذ يبرد بدوره ويتجزأ الى كتل صغيرة كونت كل منها بعض أفراد المجموعة الشمسية.

---

(1) Immanuel Kant, "A. General Theory of the Heaven, or Essay on the mechanical structure of the Universe", (1955).

وقد أكد هذه النظرية العالم الفرنسى لابلاس *Pierre S. Laplace* فى عام ١٧٩٦ م. وأوضح أن المجموعة الشمسية كانت تتركب أصلاً من السديم (جسم غازى متوهج هائل الحجم). وعندما تعرض السديم لفعل البرودة تقلصت أجزاء كبيرة منه، وانكمشت تدريجياً وساعدت عملية دوران كتل السديم حول نفسها الى الى إنبعاج المناطق الاستوائية منها، ثم انفصال هذه الأجزاء المنبعجة (عندما تزداد قوة الطرد المركزية عن قوة الجذب) مكونة كواكب المجموعة الشمسية (شكل ١٤).

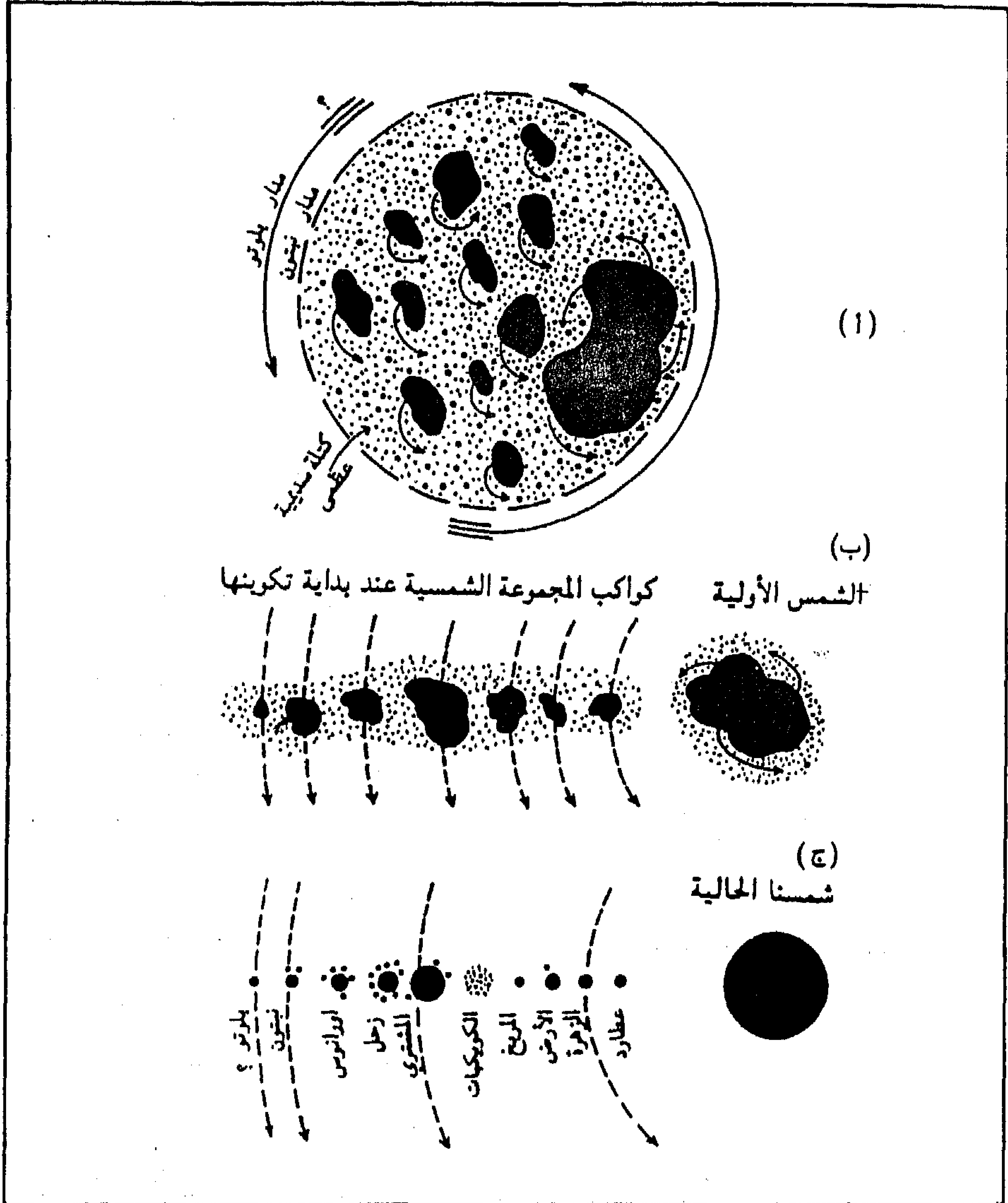
ومنذ بداية القرن العشرين ظهرت نظريات فرضية أخرى حاولت تفسير نشأة كوكب الأرض والعلاقة بينه وبين بقية المجموعة الشمسية، ومن بين هذه النظريات ما يلى :

١ - نظرية توماس تشمبرلين، وفورست مولتن :

T. C. Chamberlin and F. F. Moulton.

تقدم هذان العالمان بتلك النظرية فى عام ١٩٠٥ م، وعرفت باسم نظرية الكويكبات *Planetesimal Theory* . وترجح النظرية أن المجموعة الشمسية انفصلت عن الشمس نفسها (أى لم تتكون من جسم السديم كما رجح لابلاس من قبل) لمرور نجم عملاق الحجم بالقرب من مدار الشمس الأولية *Primitive Sun* ونتج عن ذلك انبعاج جسم الشمس الأولية، وعندما تعرضت هذه الأجزاء المنبعجة للبرودة التدريجية ولفعل الضغط الشديد انفصلت عن الشمس الأولية وكونت الكواكب السيارة التى بردت أجسامها كثيراً عن جسم الشمس الذى لا يزال ملتهباً (شكل ١٥).

وقد رحب كل من هارولد جيفريز وجيمس جينز فى عام ١٩٢٩ *H. Jeffreys and J. Jeans* بتلك النظرية السابقة (نظرية الكويكبات)، وأوضحا أن لقوى المد والجذب بين أجسام المجموعة الشمسية المختلفة الكثافة والحجم أكبر الأثر فى عملية تكوين كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها التابعة لها.



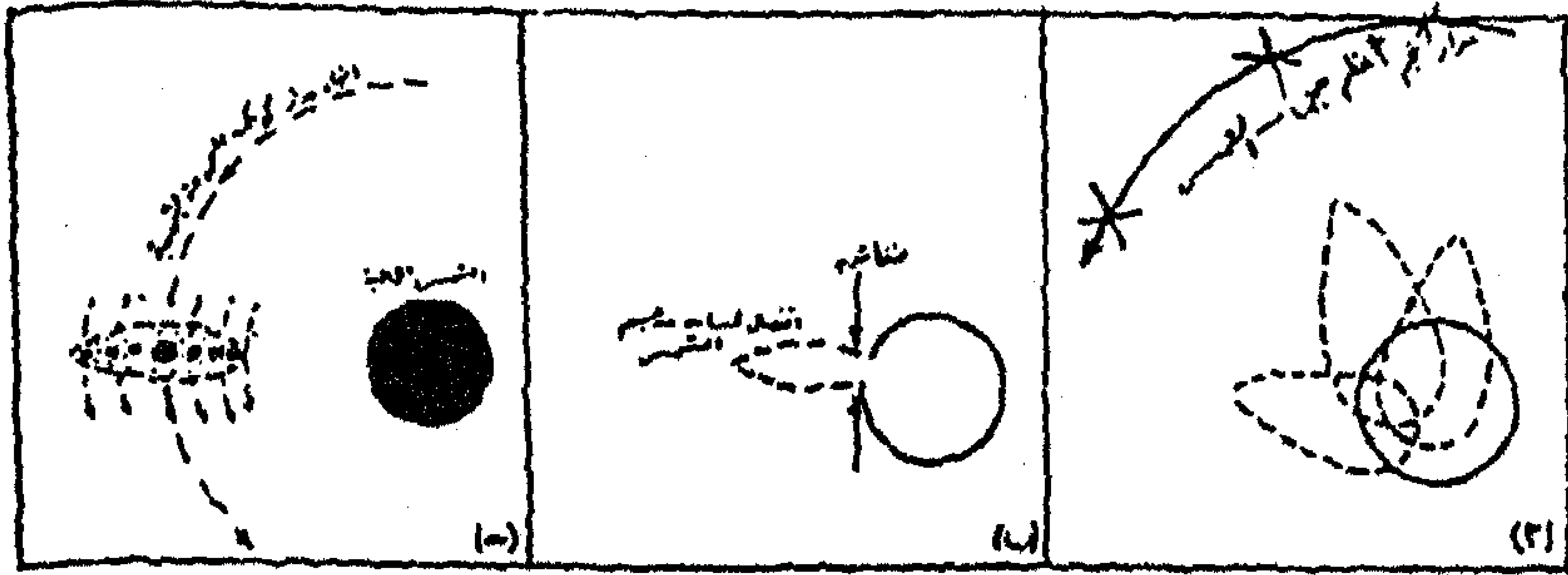
(شكل ١٤) تفسير نظر لابلاس

أ - كتلة سديمية غازية هائلة الحجم احتلت مدار نبتون وأخذت تبرد بالتدريج وتكونت منها كتل شبه باردة تدور حول نفسها.

ب - تأثرت الكتل الصغيرة الحجم بجاذبية الكتل الأكبر حجماً وأخذت تدور حولها.

جـ - فى مرحلة متأخرة تكونت الشمس وبقية كواكب المجموعة الشمسية.

(من تصور الباحث ومن إنشائه)



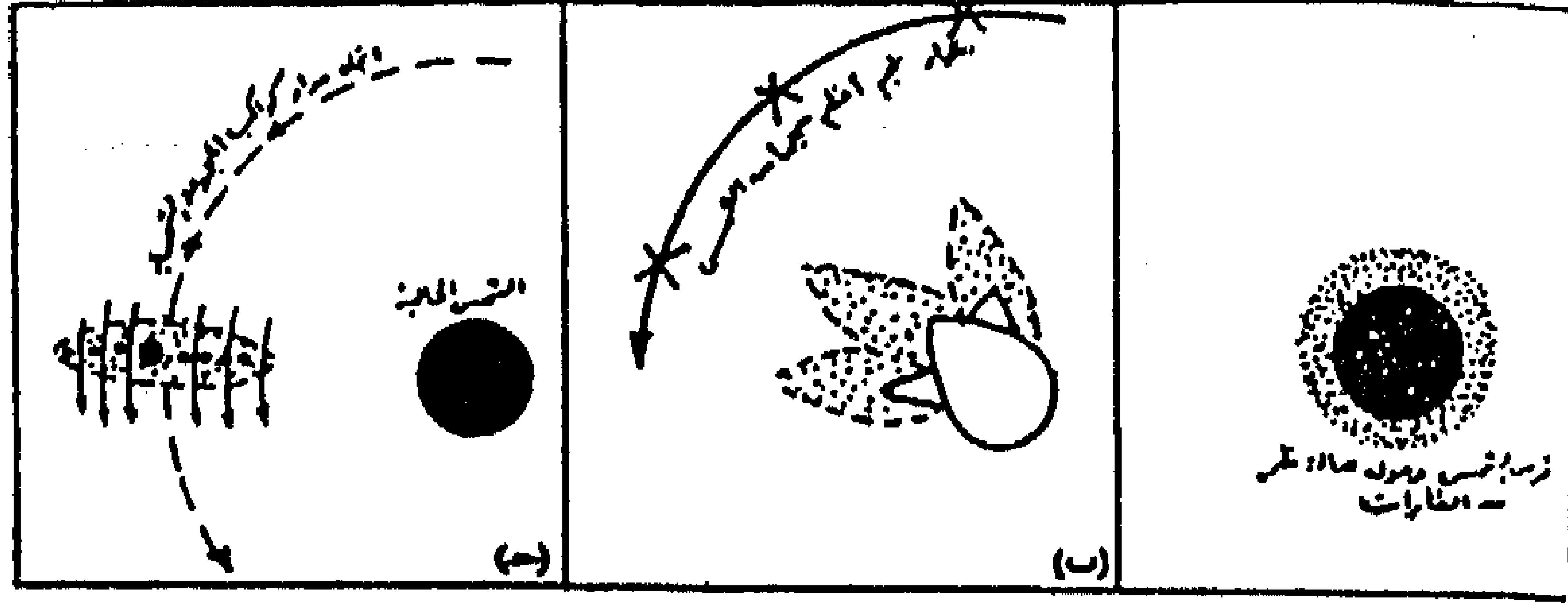
(شكل ١٥) الشمس الأولية ونظرية العمود الغازى

أ - الشمس الأولية، وقد اقترب من مدارها نجم عملاق الحجم جذب نحوه لساناً من جسم الشمس.

ب - تعرض هذا للسان للضغط الشديد وانفصل عن جسم الشمس.

جـ - تكونت من هذا السان كواكب المجموعة الشمسية فى حين كونت الكتلة الباقية من الشمس الأولية شمسنا الحالية. (من تصور الباحث ومن إنشائه)

ولكن لكي يفسر كل من جيفريز وجينز الاختلاف الحالى فى خصائص المواد التى تنزلف منها أجسام الكواكب الفضائية وجسم الشمس الملتهب، رجحا أن عملية الجذب بين النجم السيار الهائل الحجم وجسم الشمس الأولية اقتصرت أساساً على الغلاف الغازى الذى كان يحيط بقرص الشمس الأولية (تبعاً لبرودة سطح الشمس نسبياً عن باطنها)، وامتد هذا القرص الغازى على شكل لسان غازى هائل الإمتداد فى الاتجاه الذى مر فيه النجم السيار الكبير. وقد كان هذا العمود الغازى الذى انفصل عن الشمس أكثر سمكاً وضخامة فى قسمه الأوسط عن طرفيه. وقد نجم عن ذلك أن الكتل أو العقد التى انفصلت واستقلت عن العمود الغازى من قسمه الأوسط كانت أكبر حجماً من غيرها، وأدت الى تكوين الكواكب الكبيرة الحجم (المشترى وزحل) فى حين أن الكواكب التى تكونت عند طرفى هذا العمود الغازى أصبحت أصغر حجماً من المجموعة الأولى، ويتفق هذا الترتيب فى أحجام الكواكب مع الحقائق المعروفة الخاصة بالمجموعة الشمسية (شكل ١٦).



(شكل ١٦) نظرية النجم السيار الهائل الحجم
أ – الشمس الأولية وحولها القرص الغازى الهائل الحجم.
ب – إقتراب نجم عملاق الحجم من الشمس فجذب إليه الغازات التى كانت محيطة بالشمس.
جـ – إنفصل القرص الغازى عن الشمس على شكل لسان طولى وأخذ يبرد بالتدريج وتنفصل كتل منه بعضها عن البعض الآخر وتتكور ومن ثم تكونت منه بقية كواكب المجموعة الشمسية (الشكل من تصور الباحث ومن إنشائه)

٢ – نظرية الشمس التوأمية *The Binary Star Theory* :

رجح هذه النظرية العالم الفلكى راسيل *H. N. Russel* فى عام ١٩٢٥ م، لكى يفسر تكوين أفراد العائلة الشمسية من نجم آخر غير نجم الشمس الأصلى القديم *Primitive Sun*، وعلى ذلك أوضح راسيل أن شمسنا كانت عبارة عن زوجين أو توأمين متقاربين فى مدارهما، وتكونت المجموعة الشمسية من أحد هذين التوأمين، بينما احتفظ التوأم الآخر (شمسنا الحالية) بصورته التى يبدو بها اليوم.

وحقق هذه النظرية الدكتور ليتلتون *Lyttleton* فى عام ١٩٣٦ م، وأوضح أنه كان للشمس الحالية توأم آخر يبلغ نصف قطره طول المسافة التى تمتد بين زحل وأورانوس، أى نحو ١٧٠٠ مليون ميل.

أما الأستاذ هانز ألفين *Hannes Alven* فقد رجح أن عملية انفصال الكواكب

الشمسية بعضها عن بعض لا يعزى الى أثر فعل القوى الميكانيكية *Mechanical Forces* (قوة الجذب وقوة الشد وقوة الطرد المركزية)، ولكنها تعزى الى أثر فعل القوى الكهربائية المغناطيسية (١) *Electromagnetic Forces* التى تتولد داخل أجسام العائلة الشمسية. وتتحكم هذه القوى فى عملية انشطار بعض الكواكب، ثم تحديد مواقعها ومراكزها فى الفضاء الكونى، وتشكيل طبيعة مداراتها.

٣ - نظرية فايسكر أو نظرية السحب السديمية :

The Nebular - Cloud Theory

رجح فون فايسكر *Von Weizsacker* هذه النظرية فى عام ١٩٤٤ م. وهى تشبه تلك التى رجحها سيمون دى لابلاس فى عام ١٧٩٦ م مع إضافة بعض الإقتراحات الجديدة عليها، وقد استعان فايسكر بقوانين الديناميكا الحرارية والفيزياء الإحصائية الى مدى بعيد لتفسير نشأة كواكب المجموعة الشمسية. ويعتقد فايسكر أن المجموعة الشمسية بما فيها الشمس كذلك كانت تتألف يوماً من سحب هائلة من السدم التى تسبح فيها الغازات والغبار الكونى والمواد المعدنية الدقيقة الحجم جداً.

وتعد هذه السدم هائلة الحجم جداً، حيث يذكر الأستاذ سمارت *W. M. Smart* فى عام ١٩٥٩ م بأنه لو تصادف دخول شمسنا الحالية إحدى مجموعات هذه السدم الهائلة الحجم فلا تخرج من الجانب الآخر لها، إلا بعد مضى مئات الآلاف من السنوات. وتبعد هذه السدم عن كوكب الأرض ببضعه آلاف من السنوات الضوئية (٢).

(١) أ - حسن ابو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» بيروت (١٩٦٧) - الاسكندرية - الطبعة التاسعة (١٩٩٦).

ب - حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» دار المعارف - (١٩٦٥) الطبعة العاشرة (١٩٨٩)، والحادية عشرة (١٩٩٦).

جـ - حسن ابو العينين «الأقيانوغرافيا الطبيعية» دار المعارف (١٩٦٨).

(1) Smart, W. M., "The origin of the Earth", A. Pelican Book (1959), p. 202.

٤ - نظرية ميلاد النجوم الجديدة *The Nova Theory* :

رجح هذه النظرية الأستاذ هويل [1] *F. Hoyle* فى عام ١٩٤٦ م، وأوضح هذا الباحث أن الفضاء الكونى يشتمل على مجموعات هائلة من الكتل السديمية. وتبعاً للاضطرابات النووية داخل أجسام هذا السدم، ينبثق منها أحياناً أقمار كونية صغيرة تتألف من كتل غازية موهجة. وعندما تبرد هذه الأقمار بالتدريج، تفقد قوتها وتتحول الى كتل متقلصة معتمة، ثم قد تنجذب ثانية نحو جسم السديم الأكبر حجماً.

ويعتقد هويل أن كواكب المجموعة الشمسية لم تنفصل عن جسم الشمس الحالية، ذلك لأن تلك الكواكب تقع بعيدة جداً عن موقع شمسنا الحالية، ومن الصعب إرجاع ذلك الى فعل تطاير الكواكب فى الفضاء ثم إحتلالها لمدارات خاصة ثابتة بفعل قوة جذب الشمس التى انفصلت وتطايرت منها. ومن ثم رجح هويل بأنه كان لشمسنا الحالية نجم مصاحب آخر أطلق عليه اسم *Supernova* وكلاهما انفصلا من جسم سديم غازى هائل الحجم. وقد تصادف أن أخذ جسم النجم المصاحب لشمسنا الحالية يفقد كميات هائلة من غازاته بفعل الإشعاع، ومن ثم أخذ يتقلص وينكمش ويدور حول نفسه بسرعة أكبر مما أدى الى إنفجاره وتطاير أجزائه.

٥ - نظرية الانفجارات النووية :

رجح هذه النظرية العالم الفلكى البلجيكى جورج لاميتر *George Lemaitre* فى عام ١٩٣١ م، وأكدها من بعده العالم الفلكى الروسى جورج جامو *George Gamow* فى عام ١٩٤٦ م. وتتلخص هذه النظرية فى أن قسماً من الفضاء الكونى وهو الواقع فيما بين مدار الأرض حول الشمس تقريباً كان يتألف من غازات كثيفة، وقد أطلق جامو على التجمعات الغازية الأولى اسم المجرة الأولية *Proto Glaxay*. وبمرور الزمن اتحدت ذرات هذه الغازات

---

(1) Hoyle, F. "The Nature of the Universe", London, 1946.

مع بعضها البعض وكونت الخلايا النووية. وقد صاحب تكوين الخلايا النووية انفجارات عنيفة أدت الى تناثر الأجسام الكونية فى محيط أكبر إتساعاً من المحيط الذى كانت تشغله الغازات من قبل، وكونت ما يعرف باسم المجرة الفلكية، وبعد عملية الانفجارات النووية بدأت تتكثف الغازات من جديد، ومن ثم تمر بعمليات التقلص والانكماش والدوران وميلاد كواكب جديدة فى الفضاء الخارجى. وقد رجح جامو *Gamow* أن حركة الانفجار النووى حدثت من مدة ١٠ – ١٣ بليون سنة مضت، فى حين بدأت عملية تكثيف الغازات بعد حدوث عملية الانفجار النووى بنحو ٢٥٠ مليون سنة.

وعلى الرغم من تعدد الآراء والنظريات التى قدمت منذ بداية هذا القرن لتفسير نشأة المجموعة الشمسية، إلا أنه كما يذكر الأستاذ سمارت *W. M. Smart* أننا ربما لن نعلم الطريقة الحقيقية التى تكونت بها كواكب هذه المجموعة وكيف جاءت الى الوجود [١].

---

(1) Smart, W. M., "The Origin of the Earth", (1959), p. 188.

الباب الثانى

النظـــام الصخـــرى

الفصل الثالـــث : قشرة الأرض.

الفصل الرابـــع : المعادن.

الفصل الخامــس : الصخور.

الفصل السادس : القوى الداخلية التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض. (القـوى الداخليـة الفجائية والداخلية البطيئة)

الفصل السابع : القوى الخارجية التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض (فعل التجوية وفعل عوامل التعرية)

الفصل الثامـن : الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة.

الفصل التاســع : بعض الظاهرات التضاريسية الكبرى فى النظام الصخرى (الجبال والتلال والهضاب)

الفصل الثالث
قشرة الأرض

يعد النظام أو الغلاف الصخرى *The Lithosphere System* جزءاً من الأرض نفسها إلا أنه الجزء الخارجى الذى يمثل سطح القشرة أو الطبقات العليا التى تتركب منها الأرض، وقد ساعدت عمليات دوران الأرض حول محورها من جهة والبرودة التدريجية التى تعرضت لها من جهة أخرى على تنسيق وترتيب مواد الأرض تبعاً لإختلاف كثافتها وتكوين الغلاف الصخرى الخارجى أو القشرة الأرضية الخارجية التى تتألف من صخور بردت تماماً وتختلف عن المصهورات الواقعة فى باطن الأرض (١).

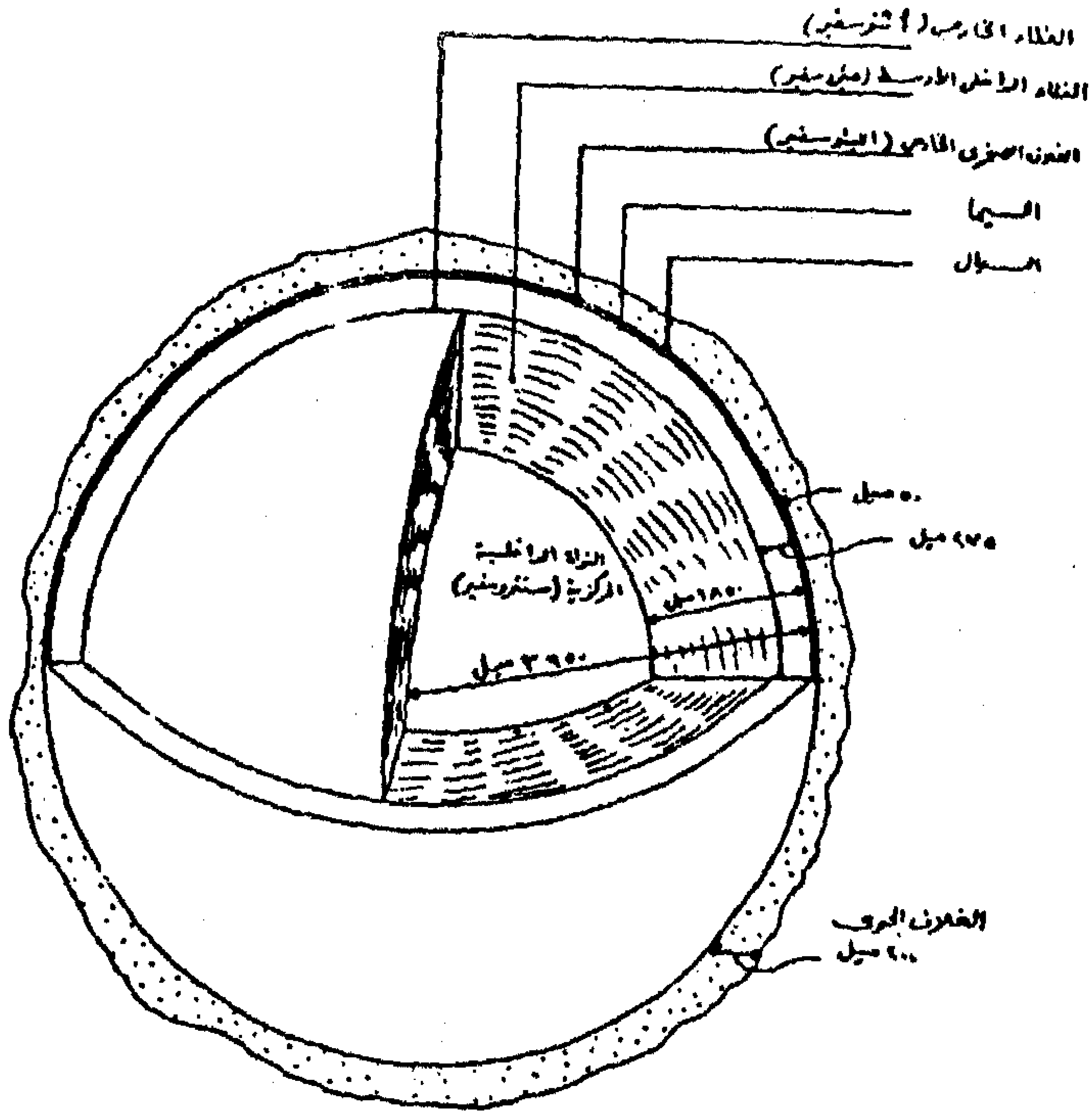
ومن ثم تتركب القشرة الأرضية *Crust of the earth* بدورها من طبقات صخرية تختلف من حيث كثافتها وخصائص تركيبها المعدنى،. ويطلق على القشرة السطحية للأرض اسم طبقة «السيال» *Sial*، ذلك لأن معادن صخورها تتركب أساساً من سليكات الألومنيوم. ويبلغ متوسط كثافتها نحو ٢,٨٠ ويتراوح سمكها من ٢ الى ١٥ كم. ويلاحظ أن هذه الطبقة رقيقة السمك خاصة أسفل البحار والمحيطات بل تكاد تكون معدومة بقاع المحيط الهادى (٢) فى حين يزداد سمكها فى قارات اليابس (شكل ١٧).

---

(١) فيرنسيد، و. ج.، بولمان، أ. م. (الجيولوجيا). الألف كتاب (٢١٧) - ترجمة محمد ابراهيم عطية.

(٢) أ - حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» دار المعارف - الاسكندرية (١٩٦٦) والطبعة الحادية عشر - الاسكندرية (١٩٩٥).

ب - حسن ابو العينين «جغرافية البحار والمحيطات» دار مكتبة الجامعة العربية - بيروت (١٩٦٧) - الطبعة التاسعة - الاسكندرية (١٩٩٦)



(شكل ١٧) التركيب العام للنظام الصخرى وباطن الأرض

وتقع أسفل صخور السيال، تكوينات أخرى من الصخور أعلى كثافة حيث تتركب من معادن ثقيلة، ويطلق عليها اسم طبقة السيما *Sima* - سليكات الماغنسيوم - وتزيد كثافتها عن ٣,٤٠ ومن الصعب تحديد عمق السيما بدقة على الرغم من حدوث الزلازل على أعماق تبعد بنحو ٢٩٠٠ كم من سطح السيال الأرضى. ويقدر معظم الكتاب متوسط سمك القشرة الأرضية (طبقات السيال والسيما معاً) بنحو ٤٥ ميلاً. وتعرف هذه الطبقة الصخرية الخارجية باسم الليثوسفير *Lithosphere*.

ويقع أسفل القشرة الخارجية للأرض تكوينات صخرية أخرى أعلى سمكاً، وتتركب من معادن وصخور أعلى كثافة وثقلاً من تلك التى تتمثل فى القشرة الخارجية، ومن ثم يطلق عليها اسم طبقة المانتل *Mantle* (الطبقة الغطائية

الداخلية) . ويبلغ متوسط سمكها نحو ١٨٠٠ ميل، وتتراوح كثافة المواد التى تتألف منها من ٥ الى ٨ ومن ثم فهى تتركب من مواد معدنية ثقيلة.

ويطلق العلماء على منطقة صخور قشرة الأرض التى تقع فى القسم الأسفل من الطبقة الغطائية للأرض «المانتل *Mantle*» شبه المنصهرة تعبير نطاق الأثنوسفير. فى حين يطلق العلماء على نطاق قشرة الأرض الخارجية نفسه *The Crust of the earth* (التى تتركب هنا من نطاق من صخور السيال *Sial* وصخور السيما *Sima*) وبالإضافة الى أعالى القسم الأعلى من الطبقة الغطائية للأرض «المانتل» تعبير الغلاف الصخرى للأرض *Lithosphere*». ويمثل حد الموهو «الحد الموهورفيشى *Mohorovicic discontinuity*» قاعدة القشرة الصخرية للأرض حيث تصل عنده سرعة الموجات الزلزالية الى ٨,١ كم / الثانية، أما حد الأندسيت *Andesite Line* فهو الحد الفاصل سيزمياً بين نطاق السيال *Sial* ونطاق السيما *Sima* فى قشرة الأرض نفسها، وتزداد سرعة الموجات الزلزالية أسفل حد الموهو كلما إتجهنا صوب الأعماق البعيدة من الأرض. ولكن تبين أنه عند عمق ٧٠ الى ٨٠ كم من سطح الأرض تنخفض سرعة الموجات الزالزالية نسبياً تبعاً لإنصهار مواد المانتل فى هذا النطاق والذى أطلق عليه تعبير نطاق الرهيوسفير *Rheosphere* .

ويتألف باطن الأرض من القلب أو الجوف المركزى *Core* أو ما يعرف بالنواة المركزية للأرض *Centrosphere* ويتركب من مواد أعلى كثافة وثقلاً من تلك التى تتركب منها بقية نطاقات الأرض. ويتألف باطن الأرض من النيكل والحديد ومتوسط كثافة هذه المواد تبلغ ١١ وسمكها نحو ٤٠٠٠ ميل.

ومن نتائج الدراسات التحليلية الكيميائية لصخور سطح الأرض تبين أن النظام أو الغلاف الصخرى يتألف كيميائياً من أربعة عناصر رئيسية هى :

الأكسجين	ونسبة وجوده فى الصخر	٤٦,٨ ٪
السيليكون	ونسبة وجوده فى الصخر	٢٨ ٪
الألمونيوم	ونسبة وجوده فى الصخر	٧,٥ ٪
الحديد	ونسبة وجوده فى الصخر	٤,٢ ٪

وتتمثل أهم العناصر الأخرى الثانوية فى الكالسيوم (٣,٣٪) والصوديوم (٢,٤ ٪) والبوتاسيوم (٢,٤ ٪) والماغنسيوم (٢,٢ ٪).

وتتألف قشرة الأرض من مجموعات متنوعة من الصخور أساسها الصخور التى انبثقت من باطن الأرض وظهرت فوق السطح وأخذت تبرد بالتدريج لتكون الغطاء الصخرى لهذا الكوكب، وتعرف تلك الصخور باسم الصخور الأولية *Primary Rocks* أو الصخور النارية *Igneous Rocks* ومن بينها البازلت، والجرانيت، والسيانيت والدولوريت. ومن تفتت الصخور النارية بعد تعرضها لعوامل التعرية، وتبعاً للارسابات المختلفة فوق البحار والمحيطات والبحيرات تتكون الصخور الرسوبية *Sedimentary Rocks* ومن بينها الصخور الجيرية والرملية، والطينية والغرينية. وإذا تعرضت الصخور النارية والرسوبية لفعل الضغط الشديد أو الحرارة الشديدة أو لكليهما معاً فإن هذه الصخور سرعان ما تتحول الى حالة أخرى تختلف فيها خواصها ومميزاتها عن صورتها الأصلية، وتعرف هنا باسم الصخور المتحولة *Metamorphic Rocks* ومن بين أمثلة هذه المجموعة صخر النيس *Gneiss* المتحول عن الجرانيت، وصخر الشيست *Schist* المتحول عن الصخور الطينية والنارية والرخام *Marble* المتحول عن الصخور الجيرية [1].

وعلى ذلك قد تحتوى الصخور الرسوبية وبعض من الصخور المتحولة من أصل ارسابى على حفريات الكائنات التى كانت تعيش فيها خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل. وتبعاً للنتائج المستمدة من دراسة الحفريات فى الطبقات الصخرية المختلفة من القشرة الأرضية، ومعرفة عمر هذه الطبقات كذلك بحساب النشاط الاشعاعى، نجح العلماء فى تقسيم طبقات صخور القشرة الأرضية الى مجموعات مختلفة حسب عمرها أو الأزمنة التى تكونت فيها. ومن ثم قسم الباحثون الزمن الجيولوجى الى أقسام كبرى أطلق عليها تعبير أحقاب *Eras* وهذه بدورها قسمت الى أقسام ثانوية يطلق عليها عصور

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع الفصل الخامس من هذا الكتاب.

Periods . ويوضح الجدول الآتى أحقاب الزمن الجيولوجى لقشرة الأرض، والعصور المختلفة التى تكون كل حقبة، وكذلك سمك الطبقات الصخرية وطول الزمن الجيولوجى الذى شغله كل عصر [1] ويوضح هذا الجدول كذلك الحركات التكتونية الكبرى (الكارنيه والكاليدونية والهرسينية والألبية) التى انتابت صخور القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية المختلفة.

ويعزى حدوث الحركات التكتونية الكبرى *Orgenesis* الى شدة نشاط المواد الإشعاعية المتجمعة فى باطن الأرض تبعاً لدورانها المحورى، فى حين يرجع الهدوء النسبى لها الى ضعف وتدنى تجمع هذه المواد الاشعاعية. ومن ثم نلاحظ أن فترة الهدوء التكتونى النسبى تقع دائماً بين كل حركتين تكتونيتين عنيفتين. وليس من الصواب الاعتقاد بأن باطن الأرض يبرد بالتدريج بصورة مستمرة بل هو قد يبرد أو قد يسخن تبعاً لمدى نشاط وتجمع المواد الإشعاعية فيه. وإذا كان باطن الأرض يبرد بالتدريج بصورة مستمرة لكان لزماً على الحركات التكتونية الأحدث عمراً (مثل الحركة الألبية الميوسينية) أن تكون أقل قوة وتأثيراً فى تشكيل سطح الأرض عن تلك الحركات الأقدم منها عمراً (مثل الحركة الكاليدونية والحركة الهرسينية)، إلا أن الواقع هو خلاف ذلك مما يدل على أنه ليس من الصواب الإعتقاد بأن باطن الأرض يبرد بالتدريج بصورة متتالية ومن ثم فنحن على سطح الأرض نعيش اليوم فى مرحلة هدوء تكتونى نسبى، وقد يحدث بعد عدة ملايين من السنين، وعند تجمع المواد المشعة فى المواد العالية الكثافة بباطن الأرض، أن يتعرض سطح الأرض لحركة تكتونية جديدة وهذه الحركة قد تكون أقل قوة أو أشد من تلك الحركة التى سبقتها وفقاً لمدى تجمع المواد المشعة فى باطن الأرض وتبعاً لتفاعل هذه المواد ومدى نشاطها. كما تبين أن المواد المشعة يزداد تجمعها فى باطن الأرض وحول مركزها بالذات مع وجود المعادن الأعلى ثقلاً عن غيرها (الحديد والنيكل) ومن ثم تقل نسبة وجود هذه المواد المشعة فى القشرة الخارجية لسطح الأرض.

(1) Holmes, A., "Physical Geology"., London, (1950).

تقسيم الزمن الجيولوجى لقشرة الأرض الى أحقاب وعصور والحركات التكتونية الكبرى التى انتابت صخور القشرة الأرضية

الحقب Era	العصر Period		الحركات التكتونية	سمك الطبقات آلاف الأقدام	عمر كل عصر (مليون سنة)	المجموع
الزمن الرابع	الحديث (هولوسين)	Holocene		٦	١	١
(الكواتيرنرى)	البلايوستوسين	Pleistocene				
الزمن الثالث	البلايوسين	Pliocene	الحركة الألبية	١٢	١	١١
	الميوسين	Miocene	Alpine	٢١	١٤	٢٥
(الكاينوزوى)	الأوليجوسين	Oligocene		٢٦	١٥	٤
	الأيوسين	Eocene		١٢	٢	٦
	الباليوسين	Paleocene			١	٧
الزمن الثانى	الكريتاسى	Cretaceous		٥١	٦٥	١٣٥
(الميزوزوى)	الجوراسى	Jurassic		٤٤	٤٥	١٨
	الترياسى	Triassic		٣	٤٥	٢٢٥
الزمن الأول	البرمى	Permian	الحركة	١٩	٤٥	٢٧٠
	الفحمى	Carboniferous	الهرسينية	٤٦	٨٠	٣٥٠
	الديفونى	Devonian	Hercinian	٣٨	٥٠	٤٤٠
(الباليوزوى)	السيلورى	Silourian	الحركة	٣٤	٤٠	٤٤٠
	الأردوفيشى	Ordovician	الكاليدونية	٤٠	٦٠	٥٠٠
	الكمبرى	Camberian	Caledoninan	٤٠	١٠٠	٦٠٠
ما قبل	البروتروزوى	Proterozoic	الحركة	–	–	–
الكمبرى	الأوزوى ـ أو	Archaeozoic	الكارنية	–	–	–
	الأركى	(Eozoic)	Charnion	–	–	–

ويدخل ضمن الغلاف الصخرى كذلك الرفارف القارية *Continental Shelves* وعلى الرغم من أن أرضية الرفارف القارية مغطاة بمياه البحار والمحيطات إلا أنها تعتبر الحواف الهامشية للقارات حيث تتألف من نفس التركيب الجيولوجى لصخور يابس القارات المجاور. وتتميز الرفارف القارية بأنها مناطق ضحلة من أرضية البحر ولا يزيد عمقها عن ١٠٠ قامة، ويبلغ مجموع مساحتها فى كل المسطحات المائية نحو ١٠ مليون ميل مربع. وقد يبهرنا المظهر التضاريسى لسطح الأرض من أودية وأخاديد عميقة وجبال شاهقة الإرتفاع كالهيملايا والروكى والألب. ولكن إذا ما قورنت هذه الظواهر بالأخاديد المحيطية، وأعماق المحيطات البعيدة، والحواجز الجبلية المحيطية لتبين أن الأخيرة تبدو بصورة بارزة واضحة وبصورة أكبر من تضاريس سطح الأرض بكثير.

الفصل الرابع
المعـــــــادن

يتألف النظام الصخرى لقشرة الأرض من صخور متنوعة النشأة إلا أنها جميعاً تتكون بدورها من معادن يدخل فى تركيبها عناصر كيميائية متعددة. وقد تبين أن قشرة الأرض تتألف من ثمانية عناصر كيميائية رئيسة تتمثل فى الأكسجين والسليكون والألمنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنسيوم وتكون هذه العناصر الأخيرة مجتمعة نحو ٩٨,٥٨ ٪ من مجموع وزن القشرة الأرضية، أما العناصر الأخرى الأقل أهمية فلا تزيد نسبة وزنها عن ١,٥ ٪ من جملة وزن القشرة الأرضية وتتمثل فى الأيدروجين والكربون والمغنسيوم والكبريت والكلور واليورانيوم والرصاص والبورون.

ويلاحظ بأن ستة من هذه العناصر الرئيسة يمكن إعتبارها من مجموعة المعادن كذلك، وخاصة عندما توجد هذه العناصر متجمعة بكثرة فى الطبيعة وبحيث تتخذ لنفسها الصورة العامة للمعدن. ومن بين هذه العناصر الحديد الذى يعد فى نفس الوقت من المعادن الهامة التى يقوم الإنسان باستغلالها فى مشروعاته الصناعية المختلفة. وتزيد نسبة الألمنيوم فى قشرة الأرض عن نسبة الحديد فيها، كما يمتزج المغنسيوم عادة بالألمونيوم ويتميز المغنسيوم بثقله النوعى الخفيف.

وعندما تلتحم ذرات العناصر الكيميائية فى الطبيعة تكون ما يعرف باسم المعادن. ومن ثم فإن بعض المعادن تتكون من عنصر واحد من بينها الماس *Dimond* الذى يتكون من الكربون النقى. ومن ثم فإن المعدن عبارة عن مادة متجانسة تتكون تحت ظروف طبيعية أو كيميائية فى باطن قشرة الأرض أو فوق سطحها دون أن يتدخل الانسان فى عملية تكوينها. وتتميز جميع

أجزاء المعدن الواحد بالتجانس، ويتشابه كل جزء من أجزاء المعدن طبيعياً وكيميائياً مع بقية الأجزاء الأخرى من كتلة المعدن ويزيد عدد المعادن المعروفة في الوقت الحاضر عن ثلاثة آلاف معدن.

الخواص الطبيعية للمعادن

Physical Properties of Minerals

يقصد بالخصائص الطبيعية للمعادن، تلك المميزات التى تشكل المعادن وتميزها بصورة مباشرة وأن يتعرف الباحث على المعادن بمجرد النظر إليها بالعين المجردة وبوسائل طبيعية بسيطة. ومن ثم قد يستخدم الباحث فى هذه الحالة بعض الأدوات البسيطة مثل عدسة مكبرة، ومطواه لخدش المعادن وتحديد درجة صلابته. ومن بين أهم الخواص الطبيعية للمعادن ما يلى :

١ – الشكل البلورى *Crystal Form* :

عند ترسيب المعادن أو أثناء تعرض المعادن المنصهرة لبرودة تدريجية تتصلب أجزاء المعادن فى أشكال هندسية منتظمة تعرف باسم البلورات *Crystals*. ويطلق على عملية تكوين بلورات المعادن اسم عملية التبلور *Crystallisation* ولا تقتصر عملية التبلور على مجرد تكوين الأشكال الخارجية للمعدن بل كثيراً ما يصحب ذلك انتظام فى جميع الخواص الطبيعية الأخرى مثل الصلابة ودرجة التماسك [١]، ومرور الضوء فى المعدن، ومدى انتقال الحرارة فيه. وتتكون أسطح البلورة المعدنية من عدة أوجه بلورية *Crystal Faces* تؤلف مجتمعة الشكل المميز للبلورة المعدنية.

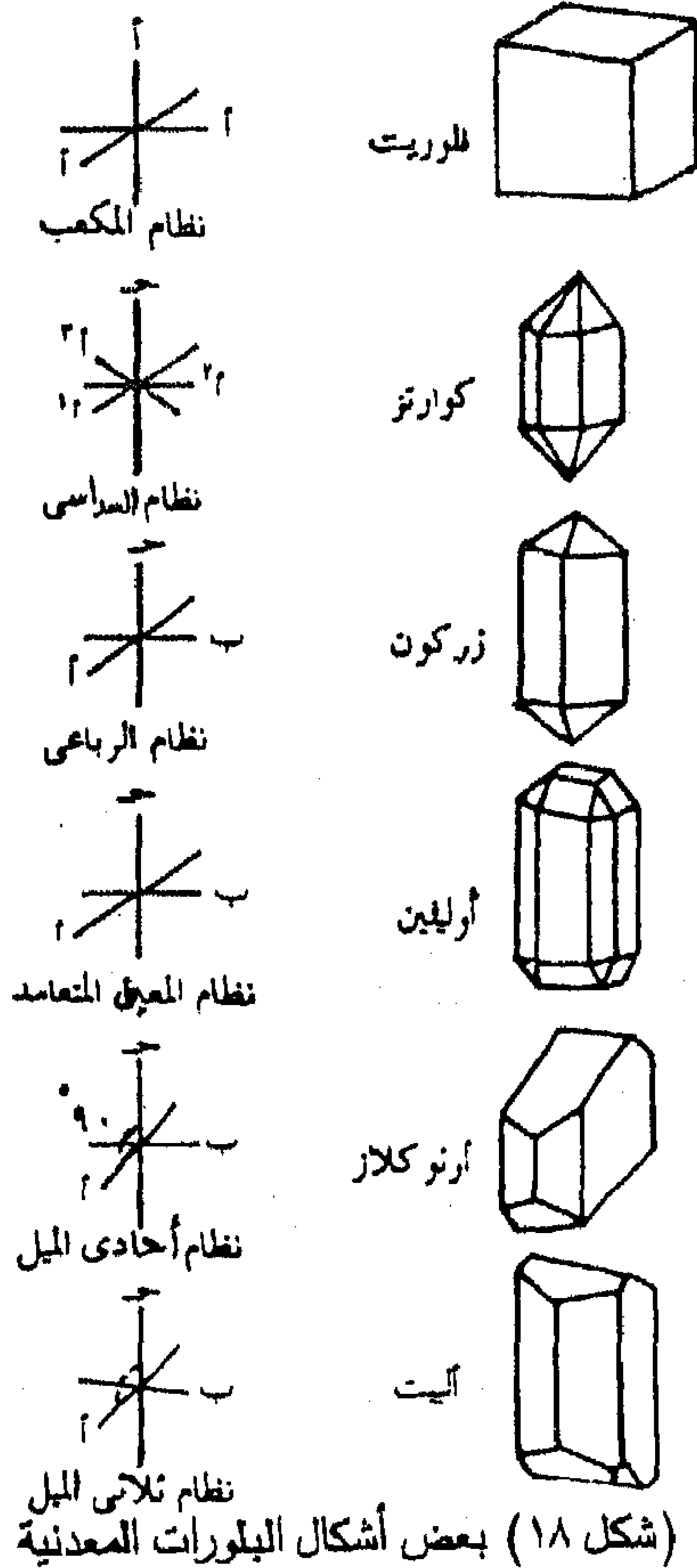
وتتقابل الأوجه البلورية فى خطوط مستقيمة تسمى حروف البلورة *Crystal Edges*، وتعرف الزوايا المحصورة بين أوجه البلورة باسم زوايا البلورة *Crystal Angels* (شكل١٨).

---

(١) حسن صادق (الجيولوجيا) ـ القاهرة ١٩٣٠ – ص ١٤.

٢ - اللون Colour :

من الصعب أن يتخذ لون المعدن كخاصية طبيعية يمكن الاعتماد عليها تماماً عند تمييز مجموعات المعادن المختلفة، ذلك لأن المعدن الواحد قد يظهر بعدة ألوان مختلفة تبعاً لنوع الشوائب المختلفة فيه، ومع ذلك فهناك بعض المعادن كثيراً ما تظهر بلون ثابت يميزها عن غيرها ومنها معدن البيريت *Pyrite* ذو اللون الأصفر النحاسى، القليل التأثر بالشوائب، ومعدن النحاس الخام الذى يبدو دائناً أحمر اللون، والفلسبار الارثوكلازى عادة أحمر اللون والأوليفين أخضر اللون. وبعض المعادن الأخرى مثل الكوارتز الصخرى *Rock Quarte* والكلسيت *Calcite* تظهر عادة بيضاء اللون بل قد يكون لا



(شكل ١٨) بعض أشكال البلورات المعدنية

لون لهما فى حالة نقاوتهما التامة. وإذا اختلطت هذه المعادن الأخيرة بشوائب ما تكتسب فى هذه الحالة ألوان متعددة، فهناك الكوارتز الأبيض اللبنى *Milky Quartz*، والكوارتز البنفسجي الذى يختلط فيه أكسيد المنجنيز والكوارتز الأحمر ـ الكالسدونى *Chalcedony* الذى يختلط فيه أكسيد الحديد، والكوارتز الأخضر *Green Quartz* الذى تختلط معه بعض المواد الطينية، والكوارتز الوردى *Rose Quartz*. ويظهر معدن البلاجيوكلاز بألوان مختلفة من بينها الألوان البيضاء والرمادية والزرقاء، وكثيراً ما نجد معدن الكورندوم رمادى أو أحمر أو أزرق اللون.

٣ - البريق *Luster* :

لكل معدن درجة من البريق واللمعان قد تميزه عن غيره من المعادن الأخرى، ويحدد طبيعة بريق المعدن ودرجة لمعانه مقدار الضوء المنعكس من على سطح المعدن، فهناك معادن تمتص الأشعة الضوئية ومن ثم يصبح بريق المعدن ضعيفاً أو معتماً، ولا ينعكس من على سطح المعدن سوى نسبة محدودة جداً من الأشعة الضوئية. فى حين أن هناك بعض المعادن الأخرى تمتص نسبة محدودة من الأشعة الضوئية وتعكس القسم الأكبر من هذه الأشعة الساقطة على سطحها ومن ثم يكون بريق المعدن قوياً أو شديداً.

وقد ميز علماء المعادن مجموعتين رئيسيتين من المعادن ذات بريق مختلف هما البريق الفلزى والبريق اللافلزى.

٤ - المخدش *Streak* :

يلاحظ بأن بعض المعادن عند خدشها بمبراة (أو حالة حادة) قد يظهر مسحوقها بلون مختلف تماماً عن لون السطح الخارجى للمعدن. وعلى سبيل المثال نجد أن معدن الأبتيت بنى أو أخضر اللون، والكوارتز لا لون له فى حالة نقاوته، والأوليفين أخضر اللون والكورندم رمادى اللون وقد يكون أحمر أو أزرق اللون، إلا أن مخدش هذه المعادن جميعاً يكون أبيض اللون. ومن النادر أن يكون لون سطح المعدن مماثلا تماماً للون مخدشه، وتتمثل هذه

الحالة الأخيرة فى معادن النحاس الخام والطلق والجرافيت.

٥ - الصلابة *Hardness* :

يقصد بدرجة صلابة المعدن مدى مقاومة المعدن لفعل التحلل والتفكك والخدش وتتشكل صلابة المعدن تبعاً للترتيب الداخلى للذرات التى يتألف منها المعدن. وقد اتفق علماء المعادن على استخدام مقياس (موص) لقياس صلابة المعادن *Moss Scale of Hardness* وفى هذا المقياس تم إختيار عشرة معادن ووضع لكل منها رقماً، وترتب المعادن تبعاً لإختلاف درجة الصلابة ترتيباً متتالياً بحيث يكون أقل المعادن صلابة يرمز إليه بالرقم ١ ، وأشدها صلابة يرمز إليه بالرقم ١٠ وتتمثل هذه القائمة من المعادن فيما يلى :

درجة الصلابة	المعـــــدن		درجة الصلابة
١	الطلق	Talc	يخدش بالظفر
٢	الجبس	Gypsum	يخدش بالظفر
٣	الكلسيت	Calcite	يخدش بالمبراة
٤	الفلورسبار	Fluorspar (١)	يخدش بالمبراة
٥	الأبتيت	Apatite	يخدش بالمبراة
٦	الارثوكلار	Orthoclase	يخدش بالمبراة
٧	الكوارتز	Quartz	لا تؤثر فيه المبراة
٨	التوباز	Topaz	لا تؤثر فيه المبراة
٩	الكورندوم	Corundum	لا تؤثر فيه المبراة
١٠	الماس	Dimond	لا تؤثر فيه المبراة

وعلى ذلك فالمعدن الذى يقاوم الخدش يكون شديد الصلابة والمعدن الذى يخدش الآخر إذا حك على سطحه يعتبر أصلب من المعدن المخدوش. وعلى ذلك يمكن أن نحدد درجة صلابة أى معدن عندما نخدشه بالظفر أو بمسمار

---

(١) الفلورسبار : فلورور الكالسيوم.

حديدى أو بالمبراة أو يخدش المعدن بغيره من المعادن التى تتشابه معه فى درجة الصلابة لتحديد مركزه فى مقياس موص.

٦ - التشقق *Cleavage* :

عندما تتعرض أسطح بعض المعادن للضغط الشديد أو للكسر، فقد ينجم عن ذلك تشقق أسطح المعادن فى نظم مختلفة. ويتأثر نظام تشقق المعدن وفقاً لطبيعة التركيب الداخلى لذرات العناصر المكونة للمعدن. وكثيراً ما تظهر اتجاهات تشقق المعدن على طول مناطق الضعف بين ذراته المكونة له. وفى هذه الحالة تتميز أسطح المعادن بمستويات محددة من التشقق *Planes of Cleavages*.

وتختلف درجة التشقق من معدن الى آخر، فقد يكون التشقق غير واضح *Obscure* كما هو الحال بالنسبة للكورندم والكاولين أو جيد *Good* مثل معدن الجبس، أو تام *Perfect* مثل الطلق والجرافيت والتوباز. وإذا كان التشقق فى المعدن مميزاً بسهولة فيعرف التشقق فى هذه الحالة بأنه تام جداً *Highly Perfect* ومن بين أمثلة ذلك معدن الميكا *Mica* الذى يتشقق على شكل صفائح رقيقة السمك جداً فى مناطق الضعف الذرى البلورى.

٧ - المكسر *Fracture* :

يلاحظ أن أسطح بعض المعادن لا تتميز بظاهرة التشقق ولكن عندما تتكسر أجزاء منها فإن السطح «المتكسر» يتشكل بحذوذ خاصة يطلق عليها تعبير مكسر المعدن. وقد يكون سطح المعدن بعد كسره اما مستوياً أو مقعراً أو محدباً أو منتظم السطح. أما شكل المكسر فقد يكون هو الآخر مستوياً *even* مثل مكسر الكالسيت أو غير مستوى *Uneven* مثل مكسر معادن الطلق والجرافيت والابتيت والبلاجيوكلاز والتوباز والكورندوم. وقد يكون مكسر المعدن خشناً أو خشبياً *Hackly or Rough* مثل معدن النحاس أو شظيياً مثل مكسر الجبس (السيلينيت)، وقد يكون محارياً *Conchoidal* مثل مكسر معادن الكوارتز

والأوليفين والألماس.

٨ – الثقل النوعى *Specific Gravity* :

تتميز الذرات المكونة لبعض المعادن بزيادة ثقلها ووزنها فى حين أن بعضها الآخر قليل الوزن، كما تختلف المسافة الفاصلة بين كل ذرة وأخرى داخل معدن ما عنها فى معدن آخر. ومن ثم يتضح بأن هناك معادن ثقيلة وأخرى خفيفة الوزن. وقد يصادف الباحث قطعتين من معدنين مختلفين متساويين فى الحجم إلا أنهما قد يختلفان من حيث الثقل النوعى، كما هو الحال بالنسبة لقطعتين من الحديد (ثقله النوعى ٧,٥) والكبريت ثقله النوعى ٢). وإختلاف الثقل النوعى فى عينات الصخور قد يرجع الى إختلاف التركيب المعدنى للصخر، أو الى كثرة الفراغات التى قد تتمثل فى الصخر ووجود بعض الغازات المحبوسة داخل الصخر كما هو الحال بالنسبة لصخر الخفاف *Pumice Rock*.

٩ – درجة الشفافية *Degree of Transpârency* :

لا تتأثر درجة شفافية المعدن باختلاف سمك المعدن بل على مقدار الأشعة الضوئية التى تنفذ خلال ذرات المعدن. وعلى هذا الأساس ميز الباحثون بين المعادن العالية الشفافية *Perfectly transparent* والتى تنفذ خلالها الأشعة الضوئية ولا تحجب عن العين المجردة ما يقع خلفها، ومن بينها الكوارتز النقى والايسلندسبار *Icelandspar*، وبين المعادن شبه الشفافة أو نصف الشفافة *Translucent* ومنها الأوبال والجبس، وأخرى معادن معتمة *Opaque* لا ينفذ الضوء من خلالها.

إلى جانب هذه الخواص الطبيعية الأساسية للمعادن، قد تتميز بعض المعادن بخواص طبيعية ثانوية يمكن أن نلخص بعضها فيما يلى :

أ – قوة المغناطيسية *Magnetism* :

حيث تتميز بعض المعادن بزيادة قوتها المغناطيسية وأخرى لا تملك هذه

الخاصية. ويلاحظ أن المعادن الأعلى مغناطيسية تجذب إليها بعض المعادن الأخرى الأقل مغناطيسية إذا ما وقعت تحت تأثير مجالها المغناطيسى. ومن بين المواد الممغنطة التى عرفها الإنسان الحجر المغناطيسى *Lodestone* ومعدن المجانيتيت *Magenetite*.

ب - المذاق *Tast* :

يلاحظ أن بعض المعادن التى تذوب فى الماء لها مذاقاً خاصاً قد يميزها عن غيرها من المعادن الأخرى. ومن بين أمثلة ذلك معدن الهاليت *Halite* (الصخر الملحى) والملح العادى.

جـ - إدراك المعدن *Feel Of Minerals* :

يمكن أن يدرك الفاحص نوع المعدن وذلك بمشاهدة السطح الخارجى للمعدن سواء أكان هذا السطح خشناً *Rough-Looking* أو ناعماً كسطح الصابون *Soapy*.

د - الرائحة *Odour* :

بعض المعادن تتميز برائحة خاصة كما هو الحال بالنسبة للمعادن المكونة للصلصال. وعندما يعتاد الفاحص على رائحة المعادن وهى فى حالتها الأولية يمكن له أن يتعرف عليها بسهولة.

هـ - ليونة ومرونة المعادن *Flexibility and Elasticity* :

معظم المعادن المكونة لصخور القشرة الأرضية غير مرنة، ولكن هناك بعض المعادن تتميز بمرونتها وأخرى بليونتها وبعضها الآخر قد تتميز بكونها مرنة ولينة معاً. فإذا أمكن إعادة المعدن الى شكله الأول بعد ثنيه وفى نفس الوقت يمكن ثنى المعدن ليأخذ أشكالاً متعددة فيعرف المعدن فى هذه الحالة بأنه مرناً *Elastic* ومن بين أمثلة ذلك البيوتيت (الميكا السوداء *Biotite*) والمسكوفيت (الميكا البيضاء *Muscovite*).

وفى حالة إذا كان المعدن قابلاً للثنى والانحناء دون أن ينكسر، ولكن من

المعــدن	رمزه الكيميائى	درجة الصلابة	اللـــــون	البريــق	المخـدش
الطلق	HMgSiON	١	أبيض - مخضر اللون	لؤلؤى	أبيض
الجرافيت	G	١	أسود - رمادى	فلزى - معتم	أسود
الجبس / السليت	$CaSO_2$ 2HO	٢	عادة لا لون له	لؤلؤى	أبيض
الكاولين	HALSi On	٢	أبيض - رمادى	معتم	أبيض
النحاس	Cu	٣	أحمر نحاسى	فلزى	أبيض
الكالسيت	$CaCo_3$	٣	لا لون له - مظلل	زجاجى	أحمر نحاسى
الفلوريت	CaF_2	٤	أصفر - أخضر	زجاجى	أبيض
الابتيت	Ca FPO	٥	بنى - أخضر	زجاجى	أبيض
البالجيوكلاز	NaCaALSiO	٦	أبيض - رمادى - أزرق	زجاجى	أبيض
الاورثوكلاز	$KALSiO_2$	٦	عادة أحمر	زجاجى	أبيض
الكوارتز	SiO_2	٧	لا لون له	زجاجى	أبيض
الأوليفين	Fe Mg SiO	٧	أخضر	زجاجى	أبيض
التوباز	ALFSiO	٨	أبيض مظلل	زجاجى	أبيض
الكورندوم	$Al_2 O_3$	٨	رمادى - أحمد - أزرق	زجاجى	أبيض
الألماس	C	١٠	لا لون له وأحيانا أسود	ماسى	أبيض

التشقق	المكسر	الثقل النوعى	المخدش
تـــام	غير مستوى	٢,٧	لين ـ دهنى الملمس
تـــام	غير مستوى	٢,٢	لين ـ دهنى الملمس ـ يتركه أثر على الورق
تام ـ متسط	شظى	٣,٣	لين ـ شفاف
غير واضح	غير مستوى	٢,٦	له رائحة التربة الأرضية ـ دهنى الملمس
لا يتشقق	خشن	٢,٨	قابل للطرق والسحب
تشقق معينى	مستوى	٢,٧	له خاصية ازدواج انكسار الأشعة
تشقق ثمانى	مستوى	٣,٢	يتوهج بشدة ـ بلوراته مكعبة
لا يتشقق	غير مستوى	٣,٢	بلوراته سداسية الجوانب
مستويان للتشقق يتقابلان فى زاوية قائمة	غير مستوى	٢,٧	بلوراته مستطيلة وبه خدوش توأمية
مستويان للتشقق فى زاوية قائمة	غير مستوى	٢,٦	بلوراته كبيرة
لا يتشقق	محارى	٢,٧	بلوراته لها عادة ستة أوجه، شفاف ـ نصف شفاف
ضعيف التشقق	محارى	٣,٣	يحدث فى كتل محببة الشكل
تـــام	غير مستوى	٣,٥	شفاف ـ نصف شفاف
عادة غير واضح التشقق	غير مستوى	٤,٠	يكثر فيه بلورات ذات ستة أوجه
تشقق ثمانى	محارى	٣,٥	يحدث أحياناً على شكل بلورات محارية

الصعب ارجاعه الى شكله الأصلى فيصبح المعدن ليناً *Flexible* إلا أنه غير مرن، ومن بين أمثلة ذلك الكلوريت *Chlorite* والسلينيت *Selenite*.

و - قابلية الطرق *Malleability* :

يطلق على المعادن التى يمكن أن تتشكل بضربات المطرقة اسم المعادن القابلة للطرق *malleable* ومن بينها الذهب والنحاس أما المعادن الأخرى التى تنكسر تحت ضربات المطرقة فهى معادن غير قابلة الطرق.

ز - قابلية السحب أو الممطوطية *Ducitity* :

بعض المعادن قابلة للسحب ويمكن تحويلها الى أسلاك رفيعة جداً كما هو الحال بالنسبة للنحاس والفضة فى حالتيهما الأصلية فى حين أن هناك بعض معادن أخرى غير قابلة للسحب أو للمط.

ويجب أن نشير فى هذا المجال بأنه من الصعب أن نميز معدن ما على أساس خاصية واحدة أو خاصيتين من خواص المعدن الطبيعية. بل لابد وأن نتعرف على المعدن بعد تحديد عدة خصائص طبيعية مختلفة حتى يمكن بعدها أن نحدده ونميزه عن غيره من المعادن الأخرى. وعلى ذلك فقد يصادف الباحث معدنين متشابهين فى بعض خصائصهما الطبيعية وعليه أن يتعرف على بقية خصائصهما الطبيعية حتى يمكن له أن يميز كل معدن عن الآخر.

وعلى الرغم من أن عدد المعادن المعروفة فى الوقت الحاضر يزيد على ثلاثة آلاف معدن، إلا أن أهم المعادن المكونة لصخور قشرة الأرض محدودة جداً ومن بينها الكوارتز والكلسيت وأكاسيد الحديد والجبس والملح والفلسبار والهورنبلند والأوجيت والأوليفين. وعلى سبيل المثال تتمثل نسبة معدن الكوارتز بنحو ٧٠٪ فى الصخور الرملية و ٣١٪ فى الجرانيت و ٣٢٪ فى الصخور الصلصالية. أما معدن الفسبار فيتمثل بنسبة ٥٢٪ فى الجرانيت و ٤٦٪ فى البازلت و ١٧,٦٪ فى الصخور الصلصالية. وقد يتمثل الكالسيت بنسبة ٩٣٪ فى الصخور الجيرية.

الفصل الخامس

الصخـــــــــــور

ليس من الصحيح كما كان شائعاً من قبل أن الصخور هى المواد الصلبة التى تدخل فى تركيب قشرة الأرض ذلك لأن هناك كثيراً من الصخور تتميز بليونتها ورخاوتها. ومن ثم فقد جرى العرف بين الجيولوجيين على أن الصخور عبارة عن مادة ما تجمع بين طياتها معدنين أو أكثر. وإن كان هذا التعريف ينطبق على أغلب صخور قشرة الأرض فإن هناك بعض أنواع من الصخور لا تتفق مع هذا التعريف.

وقد أجمع الجيولوجيون على تصنيف قشرة الأرض بحسب طرائق نشأتها والظروف التى ساعدت على تكوينها الى ثلاث مجموعات كبرى هى :

١ - الصخور النارية *Igneous Rocks* :

اتخذت هذه المجموعة من الصخور اسمها «النارية *Igneous*» من الكلمة اللاتينية *Ignis* أى نـار *Fire*. ذلك لأنها تكونت عند بداية تكوين قشرة الأرض، وكانت فى بداية حالتها الأولى منصهرة ولزجة وشديدة الحرارة، ثم أخذت تبرد بالتدريج وكونت الغلاف الصخرى الأصلى لقشرة الأرض. ولا تزال هذه الصورة تعيد نفسها من جديد تبعاً لإنبثاق المصهورات النارية من باطن الأرض عبر الشقوق والفوهات البركانية وتنساب على سطح الأرض وتكون الصخور النارية بعد أن تتعرض للبرودة.

ويطلق بعض الجيولوجيين على هذه المجموعة اسم الصخور الأولية *Primary Rocks* ذلك لأنها أول صخور ظهرت على سطح الأرض وأنها الصخور الأولية التى تكونت منها قشرة الأرض. فى حين يطلق البعض الآخرعليها إسم «الصخور المتبلورة» *Crystalline* ذلك لأن القسم الأكبر من

هذه المجموعة الصخرية والذى يتكون أسفل قشرة الأرض يتعرض للبرودة التدريجية التى تساعد على تبلور معادن الصخر. ومن بين نماذج الصخور النارية الجرانيت والبازلت والديوريت والدولوريت والأندسيت والبرويدوتيت والسربنتين والجابرو.

٢ - الصخور الرسوبية *Sedimentary Rocks* :

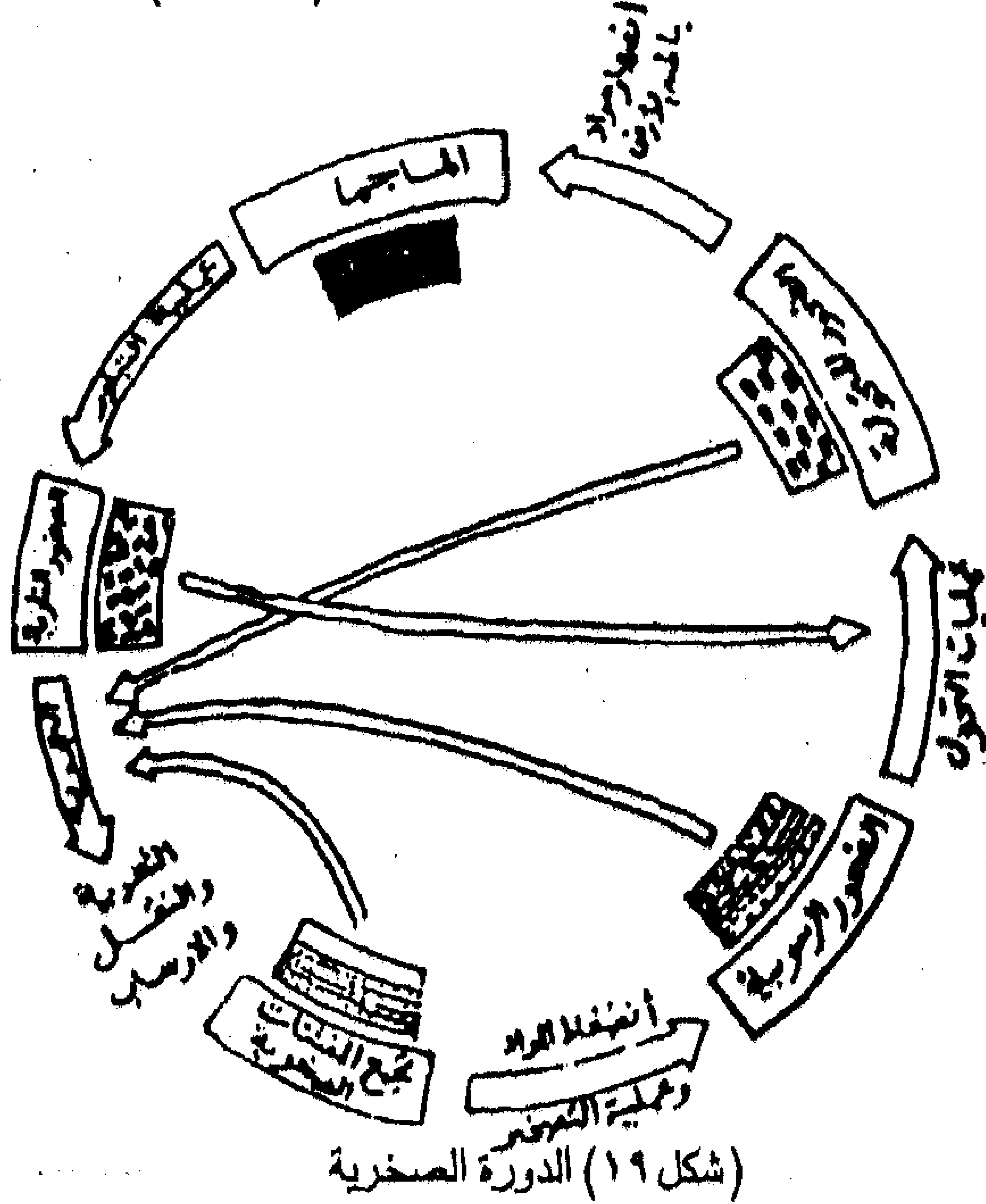
سميت هذه المجموعة من الصخور بهذا الاسم لأنها تتكون جميعاً نتيجة لعمليات الارساب. وحيث تتجمع المواد الرسوبية عادة على شكل طبقات متعاقبة فوق بعضها البعض، فيطلق الجيولوجيون عليها اسم الصخور الطباقية *Stratified Rockes*، فى حين يطلق البعض الآخر عليها اسم الصخور الثانوية *Secondary Rocks* لأنها تكونت فى مرحلة تالية بعد تكوين الصخور النارية الأولية الأصلية ولأن القسم الأكبر منها عبارة عن حطام وفتات الصخور النارية الأولية، أو عبارة عن مواد وبقايا حيوانات ونباتات بحيث أدت عوامل النحت والنقل والارساب الى تكوين هذه المجموعة الثانوية من الصخور. ومن بين نماذج هذه المجموعة من الصخور، الأحجار الرملية والصخور الطينية والجيرية.

٣ - الصخور المتحولة *Metamorphic Rocks* :

وهى عبارة عن مجموعة من الصخور كانت بداية نشأتها تنتمى الى أى من الصخور النارية أو الصخور الرسوبية، ولكن نتيجة لتعرض الصخور للحرارة الشديدة أو للضغط الشديد أو لكليهما معاً، تحولت الصخور الأصلية الى مجموعة صخرية أخرى جديدة اكتسبت من جراء هذه العمليات الطبيعية خواص طبيعية وكيميائية جديدة. ومن ثم يطلق عليها اسم الصخور المتحولة. ومن بين نماذج هذه المجموعة الصخرية النيس *Gneiss* (متحول عن الجرانيت) والشيست الميكائى *Mica Schist* (متحول عن الصخور الطينية) والأردواز (متحول عن الصخور الطينية) والرخام (متحول عن الكلسيت).

ومن ثم يتضح أن هذه المجموعات الثلاث من الصخور ترتبط فيما بينها

ارتباطاً كبيراً، فيتمثل أصل صخور قشرة الأرض فى المصهورات النارية والماجما واللافا نتيجة لعمليات انصهار المواد الباطنية فى جوف الأرض وعندما تتعرض الماجما للبرودة التدريجية داخل جوف الأرض تتعرض لعمليات التبلور، ثم ينجم عنها بعد ذلك تكوين الصخور النارية. وعند ظهور هذه الصخور الأخيرة فوق سطح الأرض تتعرض لعمليات التجوية والتعرية والنقل ثم بواسطة الارساب تتجمع المواد المفتتة وحطام الصخور الأولية على شكل طبقات مترسبة، وبفعل ثقلها فوق بعضها البعض وعند تعرض الصخور الرسوبية الثانوية والصخور النارية الأولية لعمليات الضغط والحرارة الشديدين تتكون الصخور المتحولة. وتعرف هذه العملية الطويلة البطيئة التى بدأت أولى دوراتها منذ بداية ميلاد قشرة الأرض، والتى لا تزال دوراتها مستمرة حتى اليوم باسم الدورة الصخرية *The Rock Cycle* [١] (شكل ١٩).



(شكل ١٩) الدورة الصخرية

(1) Stokes, W. L. and Judson S., "Introduction to geology", N. Y. (1968), p.33.

أولاً : الصخور النارية

Igneous Rocks

الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية :

تتشكل الصخور النارية بخصائص طبيعية متعددة والبعض منها يمكن أن يساهم فى عمليات تمييز الصخور النارية عن غيرها من المجموعات الصخرية الأخرى ويلاحظ أنه من الصعب أن تتخذ خاصية واحدة كأساس لتقسيم الصخور النارية الى مجموعات مختلفة بل يحسن أن يعتمد التقسيم على عدة خصائص طبيعية مجتمعة. وتتلخص الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية فيما يلى :

١ - اللون *Colour* :

تختلف ألوان الصخور النارية من صخر الى آخر. ومن الصعب أن يتخذ اللون فقط كأساس لتصنيف الصخور النارية وتمييزها، ذلك لأن هذه الصخور ذات ألوان متعددة. فبعض الصخور النارية فاتحة اللون *Light Colour*. فى حين أن هناك بعض الصخور النارية الأخرى تتميز بألوانها الداكنة *Dark Colour* وفيما بين هاتين المجموعتين نلاحظ مجموعة ثالثة متوسطة تختلف ألوانها بين الألوان الرمادية والحمراء.

٢ - الثقل النوعى *Specific Gravity* :

إذا فحصنا الصخور النارية من حيث إختلاف ثقلها النوعى يتبين أن بعضاً منها يتميز بأن ثقله النوعى أكبر من غيرها ويمكن القول بأن الثقل النوعى للصخور النارية يتراوح من ٢,٣ الى ٣,٣. ولكن أغلب مجموعات الصخور النارية يتروح ثقلها النوعى من ٢,٢ الى ٢,٧ فى حين القليل من أنواع الصخور النارية يزيد ثقلها النوعى عن ٣,٣ ومن الملاحظات الهامة

يتبين أن الصخور الثقيلة الوزن فى مجموعة الصخور النارية هى التى تتميز بالألوان الداكنة فى حين تلك التى تتميز بقلة ثقلها النوعى يغلب عليها الألوان الفاتحة. ولكن لا تنطبق هذه القاعدة تماماً على جميع أنواع الصخور النارية وعلى سبيل المثال نجد أن صخر الزجاج الطبيعى (أوبسيديان *Obsidian*) يتميز بلونه الداكن ومع ذلك لا يزيد الثقل النوعى لهذا الصخر البركانى عن ٢,٤ . كما أن صخر الخفاف من الصخور النارية، ومع ذلك يطفو فوق سطح الماء لخفة ثقله النوعى، حيث يدخل فى تكوينه نسبة عالية من الغازات التى تنحبس داخل فجوات هذا الصخر البركانى.

٣ - النسيج الصخرى *Texture* :

يقصد بالنسيج الصخرى خصائص حجم الجزيئات المكونة للصخور وكيفية ترتيب هذه الجزيئات داخل الصخر. أو بمعنى آخر معرفة خصائص شكل وحجم وترتيب وتوزيع المعادن المكونة للصخر.

وتبعاً لإختلاف حجم الحبيبات التى تتألف منها الصخور النارية وتنوع تركيبها وإختلاف المظهر الخارجى للصخر يمكن أن نميز الأشكال الآتية :

أ - نسيج خشن الحبيبات *Coarse-grained Texture* : يطلق هذ التعبير على الصخر الذى يمكن أن نرى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة. ويعد الجرانيت من أكثر الصخور النارية الخشنة الحبيبات شيوعاً فوق سطح الأرض. ومن ثم يطلق البعض على مثل هذا النسيج الصخرى تعبير النسيج الجرانيتى *Granitiod texture* . ويجب أن نضع فى الاعتبار بأن مثل هذه البلورات الكبيرة الحجم الكاملة التبلور لا تتكون إلا على أعماق بعيدة من سطح الأرض، وبحيث تتعرض موادها المنصهرة لبرودة تدريجية بطيئة تساعد البلورات على أن تتكون بصورة كاملة *Holocrystalline*.

ب - نسيج دقيق الحبيبات *Fine-grained texture* : ويطلق هذا التعبير على

الصخر الذى لا يمكن أن ترى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة، بل ترى باستخدام الميكروسكوب. أى أن الصخر مجهرى البلورات *Micro Crystalline* وتتميز أسطح الصخور الدقيقة أو المجهرية الحبيبات بأنها قاتمة متلبدة.

جـ - نسيج زجاجي *Glassy texture* : يطلق هذ التعبير على مجموعة الصخور العديمة البلورات *non crystalline* . وتتميز أسطحها بشدة لمعانها ومن ثم تشبه الأسطح الزجاجية، وتختلف ألوانها من اللون الأحمر الى اللون الأسود ومن بين أمثلتها الصخر الزجاجي الطبيعي البركاني. ويتضح من شكل أسطح هذه الصخور ومظهرها الخارجي العام *Strucure* بأنها انسابت على سطح الأرض بعد انبثاقها وخروجها من باطن الأرض، ومن ثم تعرضت للبرودة الفجائية السريعة التى لم تمنح الصخر فرصة من الوقت لتكوين بلوراته.

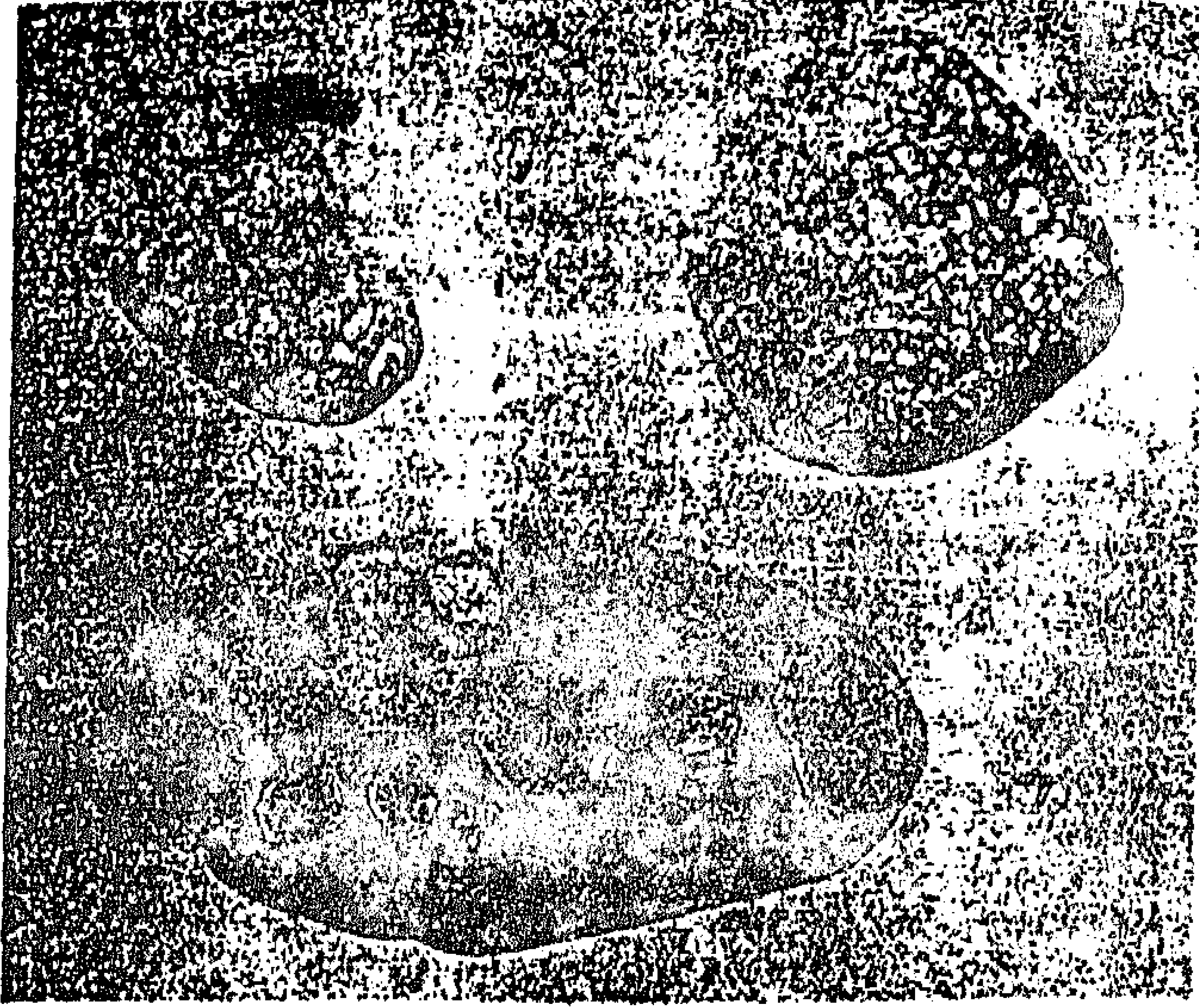
د - نسيج بورفيرى *Prophyritic Texture* : يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التى تتألف من بعض البلورات المعدنية الكبيرة الحجم نسبياً (تعرف باسم فينوكريست *Phenocrysts*) (١)، والمبعثرة فى محيط أعظم من البلورات المعدنية المجهرية المكونة لمادة الصخر.

٤ - التركيب المعدنى للصخور النارية :

تساعد معرفة التركيب المعدنى على تفسير اختلاف ألوان الصخور ومعرفة الخصائص العامة لمجموعات الصخور النارية والى حد ما تمييز بعضها عن البعض الآخر. فعند فحص الصخور الجرانيتية الخشنة الحبيبات، الفاتحة اللون، يتضح أنها تتألف من نسبة محدودة من المعادن الحديدية المغنيسية، ويغلب فيها تكوين معادن أخرى مثل الامفيبول والكوارتز والفلسبار الاورثوكلازى والبلاجيوكلازى. وفى الصخور النارية الخشنة الحبيبات الداكنة اللون لا يتمثل

---

(١) تعبير Pheno مشتق من الكلمة اليونانية Phaincin ومعناها «واضح أو ظاهر».



(شكل ١٩ – ب) ثلاثة أشكال مختلفة للنسيج الصخرى البورفيرى يتضح فيها إختلاف حجم حبيبات الفينوكرست المتبلورة والمكونة هنا من الفلسبار والمبعثرة فى مواد نارية غير متبلورة

فيها الكوارتز أو الفلسبار الاورثوكلازى فى حين يكثر فيها الفلسبار البلاجيوكلازى والمعادن الحديدية المغنسية وخاصة الأوجيت والأوليفين. وفى الصخور النارية الخشنة الحبيبات المتوسطة اللون تحتوى غالباً على قليل من الأورثوكلاز والكوارتز ونسبة مرتفعة من البلاجيوكلاز (بحيث يتركب بنسب متساوية من الألبيت والأنورثيت) وكذلك بعض المعادن الحديدية المغنيسية *Ferro-magnesian* وخاصة الهورنبلند والأوجيت.

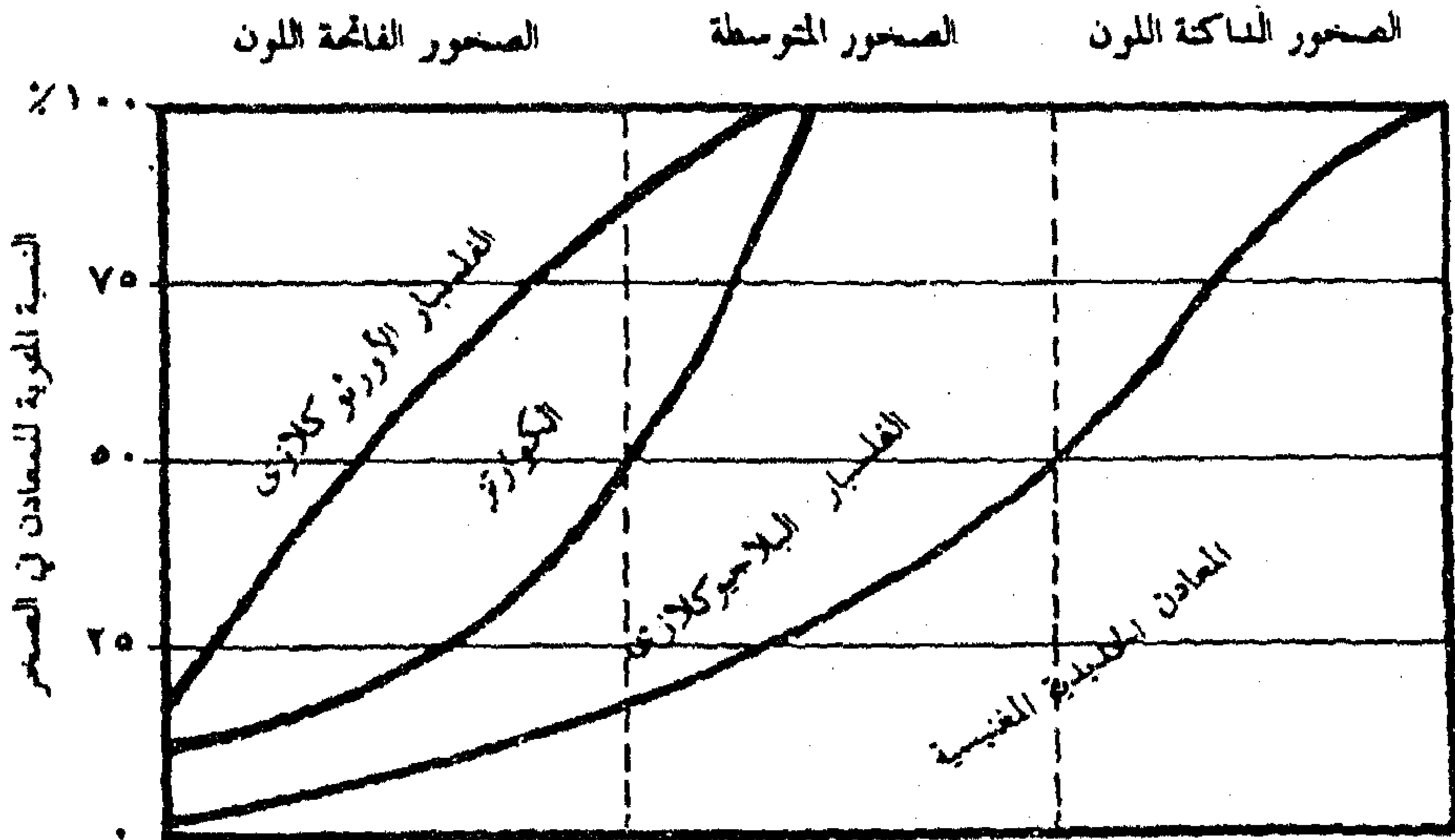
ومن ثم يمكن القول بأن هناك تناسقا واضحاً بين الاختلاف المعدنى فى الصخور وبين ألوانها العامة وثقلها النوعى وكثافتها النسبية. فتتميز المعادن الحديدية المغنيسية بارتفاع كثافتها وبزيادة ثقلها وبألوانها الداكنة، فى حين تتميز معادن الفلسبار الاورثوكلازى بقلة كثافتها ووزنها وبألوانها الفاتحة. وتحتل مجموعة معادن الفلسبار البلاجيوكلازى مركزاً وسطاً [1] من حيث

(1) Stokes W. And Judson, S., "Introduction to geology", N. Y. (1963) p. 39.

التركيب المعدنى (شكل ٢٠).

هذا ويلاحظ بأنه لا يمكن أن نحدد التركيب المعدنى للصخر بواسطة العين المجردة أو باستخدام العدسة المكبرة اليدوية، ولكن يتم ذلك بواسطة الفحص الميكروسكوبى بعد وضع عينات من الصخور النارية وسحقها والصاقها فوق الشرائح الزجاجية.

وحيث تتكون الصخور النارية فى باطن الأرض وتتميز بشدة حرارتها وأنها تتألف أصلاً من الماجما المنصهرة فإنه لا تحتوى على حفريات. وحتى إذا سقطت كائنات ما فى مواد الصخور النارية المنسابة على سطح الأرض، فسرعان ما تنصهر داخل مواد الصخور النارية ولا يتبقى لها أى رمز يدل على وجودها.



(شكل ٢٠) تصنيف الصخور النارية حسب اختلافها ومعادنها وثقلها النوعى

بعض الحالات التي توجد عليها الصخور النارية فى الطبيعة

قد تتكون الصخور النارية وتبرد في باطن الأرض وتعرف في هذه الحالة بالصخور الجوفية أو البلوتونية (١) ، كما قد تظهر الصخور النارية بأشكال مختلفة فوق سطح الأرض، وفى هذه الحالة الأخرى تعرف باسم الصخور البركانية (٢) . وتسهم الصخور الجوفية فى تشكيل الظواهر التضاريسية لسطح الأرض. ومن بين أهم الحالات التى قد توجد عليها الصخور النارية الجوفية في الطبيعة ما يلى :

١ - العروق النارية *Sills* :

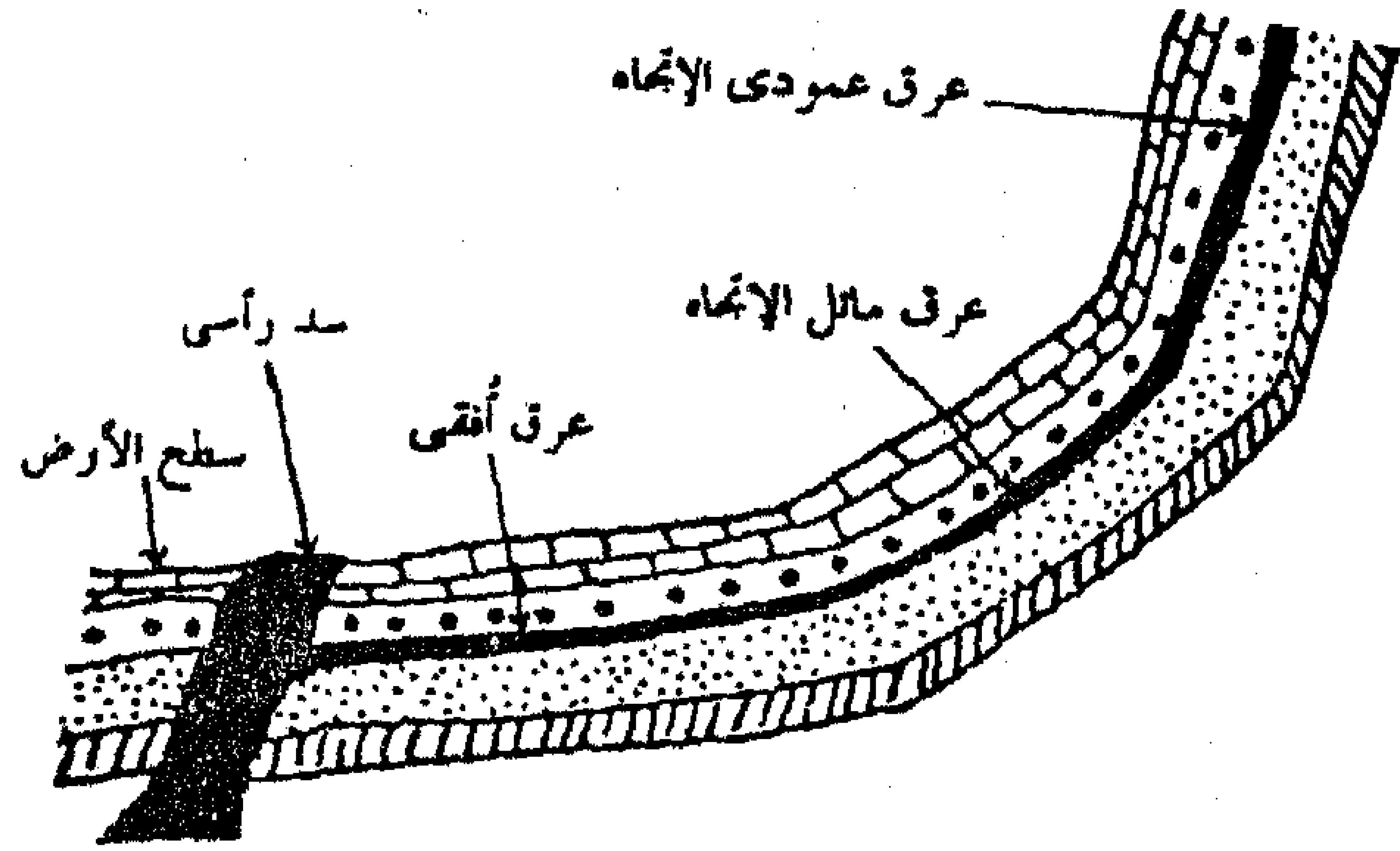
يطلق لفظ عرق نارى *Sill* على المصهورات النارية التى تنحصر بين أسطح الطبقات الصخرية بعد اندفاع الماجما من باطن الأرض، وكثيراً ما تكون هذه العروق أفقية الامتداد. ولكن فى بعض الحالات قد تكون مائلة أو حتى عمودية، إلا أنه فى جميع هذه الأوضاع لابد وأن يكون امتدادها العام موازياً لامتداد أسطح لطبقات التى تداخلت فيها العروق النارية *Concordant to bedding* (شكل ٢١) .

وعندما تظهر العروق النارية على سطح الأرض قد تؤدى الى تكوين هضاب مستوية الامتداد تبعاً للإمتداد الأفقى للعروق النارية، وفى بعض الأحيان الأخرى عندما تتألف العروق النارية من عدة فرشات لافية متعاقبة وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة طبقات صخرية أخرى قد تؤدى الى تكوين المدرجات الصخرية *Rock Terraces*.

---

(١) تعبير بلوتونى Plutonic أى جوفى مشتق من اسم الإله الإغريقى بلوتو Pluto إله باطن الأرض.

(٢) تعبير بركانى Volcanic مشتق من اسم الإله الإغريقى فالكان Volcan إله النار.



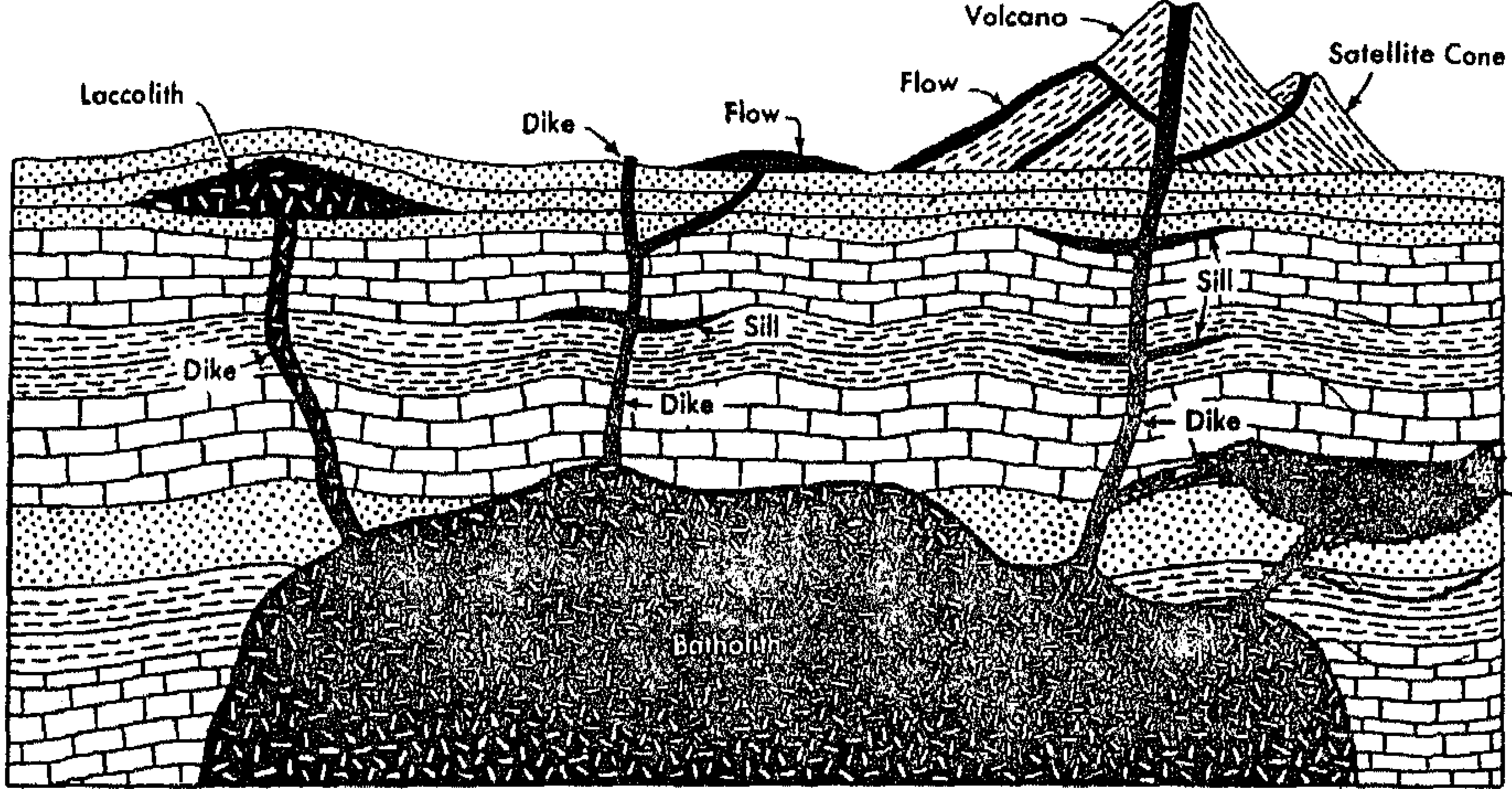
(شكل ٢١) اختلاف امتداد العروق النارية (من إفقية الى مائلة الى شبه رأسية) ولكنها فى جميع الحالات تكون موازية لأسطح الطبقات أما السدود النارية فهى عمودية على الامتداد العام لأسطح الطبقات

٢ - السدود النارية *Dykes* :

وهى عبارة عن مظهر من مظاهر انبثاقات الماجما من باطن الأرض وإندساسها واندفاعها رأسياً لتتداخل فى طبقات القشرة الأرضية، وتتكون السدود بالقرب من سطح الأرض وقد تظهر أطرافها العليا أيضاً فوق سطح الأرض وتختلف السدود عن العروق النارية فى أن الأولى تكون عمودية على امتداد الطبقات التى تتداخل فيها *Discordant to bedding* ومن ثم فهى لا تتوافق مع الامتداد العام للطبقات بإختلاف العروق النارية (شكل ٢٢).

٣ - الكتل القبابية اللافية الكبرى *Batholiths* :

وهى التى تعرف باسم الباثوليت وهى عبارة عن كتل قبابية لافية هائلة الحجم ويزداد حجمها فى اتجاه باطن الأرض بحيث يصعب تحديد مصادر أو قاعدة تلك المواد اللافية. وعندما تظهر مواد الباثوليت على سطح الأرض (بعد تعرضها لحركات الرفع) فإنها تغطى حيزاً لا تقل مساحته عادة عن ٤٠ ميلاً مربعاً.



(شكل ٢٢) بعض الأشكال التى تتخذها المصهورات النارية
بالقرب من سطح الأرض وفوقه

ومن بين نماذج كتل الباثوليث القبابية الكبرى، كتل ويكلو *Wicklo* والباثوليت الجرانيتية فى مرتفعات جوديث *Judith Mt* بولاية منتانا.

وقد تبرد الماجما فى باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض على شكل قباب أقل حجماً بكثير من قباب الباثوليث وإذا كان السطح العلوى لهذه القباب محدباً أى على شكل كتل هلالية محدبة فتعرف باسم اللاكوليث *Laccolith*. أما إذا امتدت المصهورات النارية بين الطبقات الصخرية على شكل «أطباق مفلطحة أو مقعرة أى على شكل كتل هلالية مقعرة فتعرف فى هذه الحالة باسم الفاكوليت *Phacolites*.

ومن بين أجمل أمثلة اللاكوليث ما يتمثل فى مرتفعات هنرى لاسال *Henry La Sal* وبمرتفعات أباجو *Abajo* فى جنوب ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية.

وقد تتخذ الطفوح النارية المنبثقة من أعماق بعيدة من باطن الأرض شكل حلقات من المصهورات النارية تحصر بينها الصخور الأخرى ويطلق على مثل هذه الظاهرة اسم اللابوليث *Lapoliths*.

تصنيف الصخور النارية
وبعض نماذج لأنواعها المختلفة

يمكن تصنيف الصخور النارية الى مجموعات مختلفة على أساس اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته أو على أساس تنوع التركيب الكيميائى لمعادن الصخر أو على أساس اختلاف ألوان الصخر ومظهره الخارجى، ولكن أنسب هذه التقاسيم ذلك الذى يعتمد على كل هذه الخصائص الطبيعية للصخر النارى مجتمعة. وفيما يلى محاولات مختلفة لتصنيف مجموعات الصخور النارية.

أولاً : بحسب إختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته :

حيث إن المعادن المتبلورة وغير المتبلورة تدل على الظروف التى صاحبت نشأة الصخور النارية، فليس من الغريب أن تساهم هذه الخاصية فى تصنيف مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس إختلاف نسيج الصخور النارية ومظهرها الخارجى يمكن أن تميز المجموعات الآتية :

أ - الصخور النارية الكاملة التبلور :

وهى التى تتكون فى باطن الأرض وبعيدة عن سطحها، وتتعرض معادنها للبرودة التدريجية ومن ثم استطاعت أن تكون بلورات معدنية كاملة التبلور. وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور داخل جوف الأرض فتعرف الصخور باسم الصخور النارية الجوفية العميقة *Deep-Seated or Plutonic Rocks*.

ب - الصخور الزجاجية المظهر :

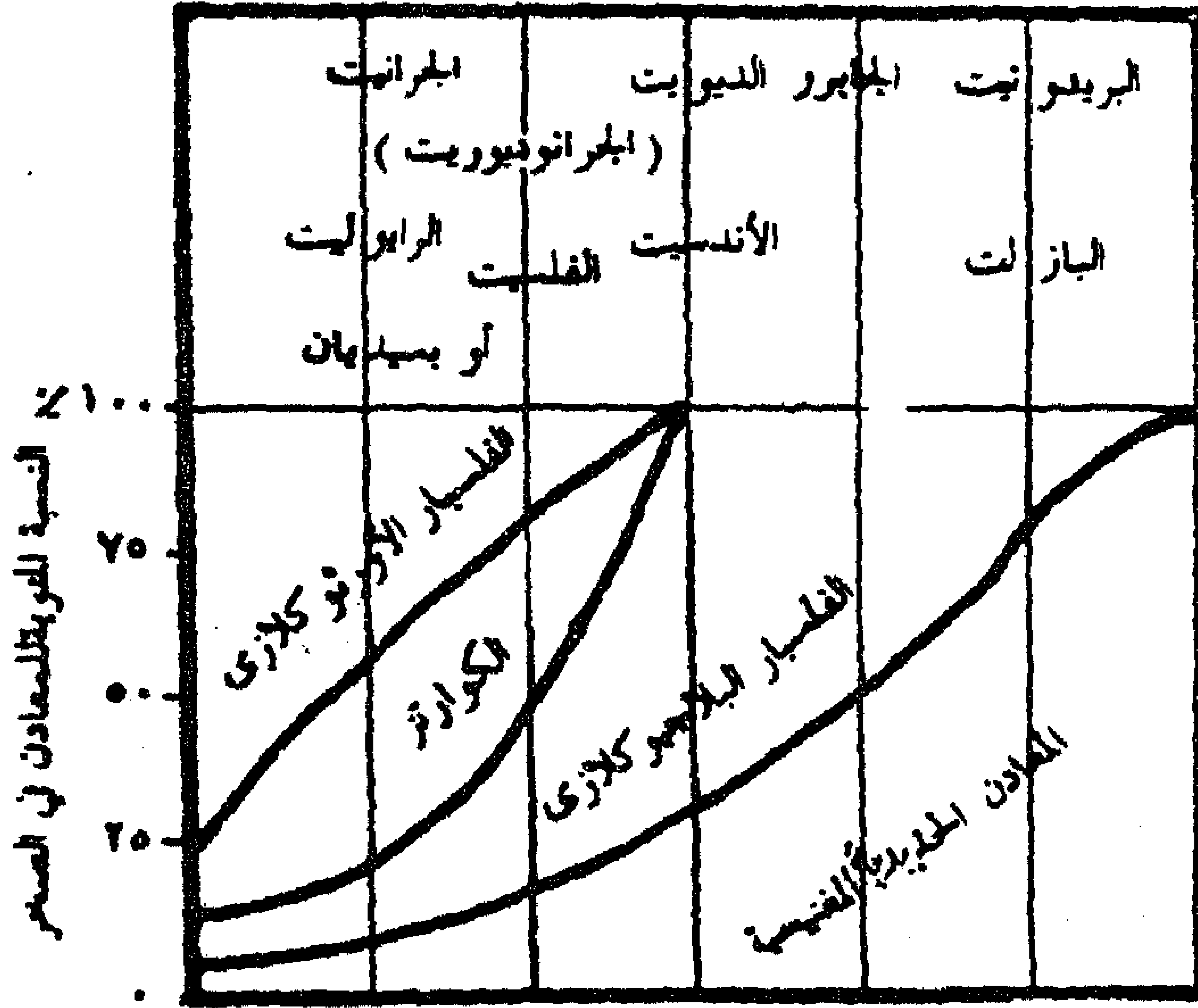
وهى التى تتكون وتبرد فوق سطح الأرض، حيث تتعرض معادنها للبرودة الفجائية ومن ثم لا تتكون فيها البلورات المعدنية. وتتميز هذه الصخور بمظهرها الزجاجى وتعرف كذلك باسم الصخور الطفحية أو البركانية *Volcanic*.

جـ - الصخور النارية البورفيرية المظهر :

يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التى تتميز بأن بعض معادنها تكون متبلورة ومبعثرة فى محيط من معادن غير متبلورة، ويعزى تبلور بعض معادن هذه الصخور وعدم تبلور بعضها الآخر الى تباين برودة الماجما بالقرب من سطح الأرض ثم ظهورها على سطح الأرض قبل أن تتم عملية التبلور تماماً. وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور بالقرب من سطح الأرض وعلى أشكال العروق والسدود النارية فتعرف الصخور كذلك باسم الصخور النارية تحت السطحية أو المتداخلة *Intermediate or Intrusive Hypabyssal Rock* ومن بين أمثلتها البورفير، والبورفيريت،، والفلسيت والدولوريت (شكل ٢٣).

ثانياً : بحسب إختلاف التركيب الكيميائى لمعادن الصخر :

قد لا يهتم بعض الكتاب بأهمية التركيب الكيميائى لمعادن الصخور النارية عند تصنيف هذه الصخور الى مجموعات مختلفة ذلك لأنه قد يكون هناك من الصخور النارية عينتان متشابهتان من حيث التركيب الكيميائى غير أنهما قد تكونان مختلفتين من حيث المظهر الخارجى والنسيج الصخرى وألوان الصخر. وإذا وضعنا فى الاعتبار بأن عدد المعادن الأساسية التى تدخل فى تركيب قشرة الأرض لا يزيد عن عشرة معادن فقط، وأن الصخور النارية بوجه خاص تتألف أساساً من ثانى أكسيد السليكون مع أكاسيد أخرى فلزية ولا فلزية لتبين لنا الأهمية الكبرى الخاصة بمعرفة نسبة وجود ثانى أكسيد



(شكل ٢٣) تصنيف الصخور النارية وأهم مجموعاتها

السليكون فى مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس اختلاف نسبة ثانى أكسيد السليكون يميز الباحثون المجموعات الآتية من الصخور النارية :

أ - صخور حمضية *Acid Rocks* :

ترتفع فيها نسبة ثانى أكسيد السليكون عن ٦٦٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها الجرانيت (جوفى عميق) والفلسيت (متداخل - وسيط)، والريوليت (طفحى - بركانى).

ب - صخور متوسطة *Intermediate Rocks* :

تتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون فيها من ٥٢ الى ٦٦٪ من جملة وزن الصخر، ومن بين أمثلتها السيانيت والديوريت (جوفية) والبورفوريت (وسيط) والتراكيت والأندسيت (سطحية).

جـ - صخور قاعدية *Basic Rocks* :

تتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون من ٤٠ الى ٥٢٪ من جملة وزن الصخر، ومن بين أمثلتها الجابرو (جوفى) والدولوريت (وسيط) والبازلت (طفحى).

د - صخور فوق القاعدية *Ultra-basic Rocks* :

وتقل نسبة ثانى أكسيد السليكون فيها عن ٤٠٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها البريدوتيت (جوفى)، واللمبرجيت (طفحى).

ثالثاً : بحسب إختلاف ألوان الصخر ومظهره الخارجى العام :

تكتسب الصخور ألواناً مختلفة فى ضوء المعادن التى تدخل فى تركيبها، وعلى أساس إختلاف لون الصخر يقسم الباحثون الصخور النارية الى المجموعات الآتية :

١ - الصخور النارية الفاتحة اللون :

وهذه المجموعة تتميز بتدنى ثقلها النوعى وتتركب عامة من سليكات الألمونيوم، ومن ثم تعرف باسم السيال *Sial* وهى صخور حمضية ترتفع فيها نسبة أكسيد السليكون عن ٦٦٪ ومن أظهر نماذج هذه المجموعة من الصخور الجرانيت، والجرانيت الديوريتى *Grano-diorites* . ويقدر الباحثون بأن هذين الصخرين يكونان نحو ٩٥٪ من جملة الصخور النارية الفاتحة اللون والتى تتبلور عادة على بعد عشرة أميال من سطح الأرض.

ومن بين أهم أنواع هذه المجموعة من الصخور كل من الجرانيت والرايوليت وحجر الخفاف.

٢ - الصخور النارية الداكنة اللون :

تتميز الصخور النارية الداكنة اللون بأنها أشد ثقلاً وأعلى كثافة من الصخور النارية الأخرى الفاتحة اللون، ويطلق عليها اسم صخور السيما *Sima*

حيث تتألف كيميائياً من سليكات المغنسيوم، ومن ثم فهى قاعدية تتراوح فيها نسبة أكسيد السليكون من ٤٠ الى ٥٢ ٪ وعلى ذلك يمكن القول عامة بأن الصخور الحمضية التى تتركب أساساً من الكوارتز والفلسبار تعد فاتحة أو باهتة اللون وخفيفة الوزن، فى حين أن الصخور القاعدية التى تتركب أساساً من الأوجيت والأوليفين تبدو قاتمة أو سوداء اللون، وغالباً ما تكون ثقيلة الوزن. وتؤلف هذه الصخور النارية الداكنة الثقيلة الوزن أرضية المحيطات وخاصة أرضية المحيط الهادى. ويقدر الباحثون بأن نحو ٩٨ ٪ من جملة حجم اللافا التى بردت على سطح الأرض تتكون من البازلت والأندسيت.

ويتميز البازلت بلونه الأسود الداكن، وتكثر فى سطحه الفراغات والثقوب نتيجة لتصلبه فوق سطح الأرض وانحباس بعض الغازات فى مواد الصخر أثناء عملية برودتها، ويتركب البازلت من الفلسبار البلاجيوكلازى والمعادن الحديدية المغنيسية ومن بلورات مجهرية.

٣ - الصخور النارية الوسيطة :

يقع فيما بين مجموعتى الصخور النارية الفاتحة اللون (معظمها حمضية التركيب) وبين الصخور النارية الداكنة اللون (معظمها قاعدية التركيب)، مجموعة ثالثة من الصخور يطلق عليها اسم الصخور الوسيطة من حيث تركيبها المعدنى وكذلك من ناحية نسيجها وألوانها العامة.

ومن بين نماذج هذه المجموعة الوسيطة صخر الأندسيت [١]، وهو صخر نارى دقيق الحبيبات إلا أنه يقع فى مرحلة تتوسط كل من الجرانيت والبازلت. ويتميز الصخر بألوانه المتوسطة وتتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون فيه من ٥٢ الى ٦٦ ٪ ويتألف من معادن الفلسبار الأورثوكلازى والهورنبلند. وفى بعض الأحيان تكون معادن الهورنبلند والأوجيت داخل صخر الأندسيت

---

(١) اكتشف هذا الصخر فى بداية الأمر بمرتفعات الأنديز Andes ومنها اشتق الصخر أسمه.

بلورات واضحة يمكن رؤيتها بالعين المجردة وينتمى الى هذه المجموعة كذلك كل من صخر البورفير وصخر البورفيريت.

وإذا وضعنا فى الإعتبار جميع الأسس المختلفة التى يمكن بواسطتها تصنيف مجموعات الصخور النارية، يمكن أن نحصل على جدول يميز المجموعات الرئيسة للصخور النارية من حيث اختلاف تركيبها الكيميائى وتنوع ألوانها وإختلاف نسيجها الصخرى ومدى تبلور حبيباتها (١). ويتضح ذلك من دراسة الجدول الآتى :

الصخور النارية بحسب تركيبها الكيميائى	نسبة ثانى أكسيد السليكون	اللون	الثقل النوعى	المعادن الأساسية	صخور جوفية	صخور متداخل (وسيطة)	صخور طفحية بركانية
					كاملة التبلور	سماقية التبلور	زجاجية التبلور
الصخور الحمضية	أكثر من ٦٦٪	فاتحة اللون	٢,٦٥	كوارتز أورثوكلاز ميكا	جرانيت	فلسيت	ريوليت
الصخور المتوسطة	٥٢-٦٦٪	متوسطة اللون	٢,٨٠	أورثوكلاز بلاجيوكلاز هورنبلند	سيانيت ديوريت	بورفير بوفيريت	تراكيت انديسيت
الصخور القاعدية	٤٠-٥٢٪	داكنة اللون	٢,٩٠	بلاجيوكلاز أوجيت أوليفين	جابرو	دولوريت	بازلت
الصخور فوق القاعدية	أقل من ٤٠٪	سوداء قاتمة اللون	٢,٣٠	أوجيت أوليفن	بروبدوتيت سربنتين		لمبرجيت

(١) حسن صادق ،الجيولوجيا، القاهرة (١٩٣٠) ص٤٧.

- Longwell, C. R. et al, "Outline of Physical Geology", N. Y., (1947) p. 33.

ثانياً : الصخور الرسوبية

بخلاف الصخور النارية التى تتألف جميعها من مصهورات الماجما الباطنية تتكون الصخور الرسوبية من الرواسب *Sediments* والمفتتات الصخرية. ويقصد بتعبير الرواسب من الناحية الجيولوجية جميع المواد المفتتة على اختلاف أشكالها وتنوع مصادرها. ومن ثم قد تتألف الصخور الرسوبية من المفتتات الصخرية الحطامية *Detrital or Clastic Sediments* أى نتيجة لتفتت الصخور النارية وغيرها من الصخور الأخرى ثم تتجمع الرواسب وتلتحم جزيئاتها مع بعضها البعض وتؤدى فى النهاية الى تكوين الصخور الرسوبية الحطامية. كما قد تتألف الصخور الرسوبية من بعض الرواسب الكيميائية *Chemical Sediments* أى نتيجة لتجمع بقايا مواد تخلفت بعد تبخر المياه والمحاليل التى كانت تحتويها من قبل، وقد تتكون الصخور الرسوبية كذلك من بعض الرواسب العضوية *Organic Sediments* نتيجة لتراكم مواد تخلفت من بقايا النباتات والحيوانات (١).

وتتجمع المفتتات والمواد فى بيئات ترسيبية مختلفة *Sedimentery environments or facies* يلاحظ بأن لكل من هذه البيئات الترسيبية مواد ومفتتات خاصة تتجمع فيها وتميزها عن غيرها. ومن ثم أصبح من السهل على الباحث الجيولوجى أن يدرك خصائص البيئة الترسيبية والظروف الطبيعية التى كانت سائدة إبان فترة تجمع فتات الصخر وذلك من دراسة أشكال الطبقات ومدى سمكها، وحجم المفتتات الصخرية وخصائص نسيج الصخر ونوع حفرياته.

(1) Stokes, W. L, "Introduction to geology", N. J., (1968).

الخصائص العامة للصخور الرسوبية
والحالات التى توجد عليها فى الطبيعة

تتشكل الصخور الرسوبية بخصائص هامة تميزها عن غيرها من الصخور الأخرى، وتتلخص هذه الخصائص فيما يلى :

١ - النسيج الصخرى *Texture* :

ويقصد بذلك المظهر الطبيعى الخارجى للصخور، وتقدير حجم الحبيبات الصخرية وأشكالها وترتيبها. ويمكن أن نميز نسيجين صخريين مختلفين فى الصخور الرسوبية هما :

أ - نسيج الصخور الرسوبية الحطامية الطبيعية *Clastic Textur*:

يتضح من هذا التعبير أن النسيج الحطامى يرتبط فى نفس الوقت بالصخور الرسوبية الحطامية (الميكانيكية)، وتبعاً لمدى اندماج الحبيبات المختلفة وتداخل بعضها مع البعض الآخر. ويتأثر تكوين هذا النسيج الخاص وفقاً لإختلاف أشكال الحبيبات الصخرية وتنوع أحجامها. وعلى سبيل المثال نلاحظ بأن الطبقة الصخرية الرسوبية التى تتألف من الحصى والحصباء والرمال تظهر على شكل طبقة صخرية خشنة ومحببة السطح وحبيباتها غير منتظمة الترتيب *Rubble like Texture*، ومن ثم يطلق على نسيج مثل هذه الطبقات التى تتألف من حبيبات متجمعة ومتماسكة تعبير النسيج الكونجلوميراتى *Conglomeratic Texture* ويتألف صخر المجمعات فى هذه الحالة من حبيبات كبيرة مستديرة الشكل مبعثرة فى مادة لاحمة تتألف من ذرات دقيقة الحجم (شكل ٢٤).

أما الطبقة الصخرية التى تتألف من حبيبات صغيرة من الرمال المتجانسة فقط، فيظهر سطحها وكأنه مغطى بحبيبات من السكر ومن ثم يطلق على مثل هذا النسيج الصخرى اسم النسيج السكرى *Sugary Texture*.

ويلاحظ بأن عوامل النقل والارساب التى تعمل على تكوين الصخور الرسوبية تساهم بدورها فى تشكيل النسيج الصخرى، فتتميز الرواسب الجليدية بأن حبيباتها غير منسقة وغير طباقية وغير متجانسة وتنتمى الى مصادر متعددة أو تكون الحبيبات الصخرية مشتقة من عديد من الصخور التى تظهر فى مناطق بعيدة جداً عن المناطق التى تتجمع فيها الرواسب الجليدية . كما أن حواف الحبيبات الصخرية تكون حادة وخشنة ومشطوفة ومقشوطة الأطراف وذلك بسبب تعرضها لفعل التجمد والإنصهار *Freezing and Thawing* ويطلق على نسيج مثل هذه الطبقات الإرسابية تعبير النسيج البريشى *Breccial texture* (شكل ٢٥) .



(شكل ٢٤) عينة من صخر المجمعات (الكونجلوميرات) لاحظ الحبيبات الكبيرة الحجم المستديرة الشكل المتماسكة بواسطة الرمال



(شكل ٢٥) قطعة من صخر البريشيا تتألف من حبيبات الصوان الفاتحة اللون والمقشوطة الجوانب ومتماسكة بمواد سليكية لاحمة

ب - نسيج الصخور الرسوبية غير الحطامية :

Non-clastic texture

يختلف نسيج هذه المجموعة من الصخور عن ذلك فى الصخور الحطامية حيث إن الحبيبات الصخرية هنا دقيقة الحجم وكثيراً ما تتماسك الحبيبات الصخرية مع بعضها البعض بشدة، كما أنها فى جملتها أعلى تجانساً من حبيبات الصخور الميكانيكية الحطامية، حتى أنها تظهر بنفس المظهر العام الذى تظهر به كثير من الصخور النارية. ومن ثم يعرف نسيج معظم هذه المجموعة من الصخور باسم النسيج البلورى *Crystalline texture*. وحيث يختلف حجم الحبيبات من صخر الى آخر، فإنه يمكن أن نميز كذلك النسيج الصخرى الدقيق الحبيبات *Fine-grained*، والنسيج الصخرى المتوسط الحبيبات *Medium graind* والنسيج الصخرى الخشن الحبيبات *Coarse-grained*.

تصخير الرواسب *Lithification* :

يقصد بعملية تصخير الرواسب أو تحجيرها، مرحلة تحويل الرواسب والمفتتات المخلخلة غير المتماسكة الى طبقة متماسكة وملتحمة الأجزاء. وتتحول المواد والرواسب الى صخور متماسكة بواسطة عدة طرق من أهمها :

أ - عملية اللحام الصخرى *Cementation* :

يقصد بعملية اللحام الصخرى امتلاء الفراغات بين حبيبات الصخور المختلفة بواسطة مواد لاحمة، ومن بين أهم هذه المواد الأخيرة الكلسيت، والدولوميت، والكوارتز، وأكاسيد الحديد، والأوبال والكالسيدونى *Chalcedony* والانهيدريت والبيريت. وتحمل هذه المعادن اللاحمة عادة مع المياه وقد يكون بعضها مذاباً أصلاً فى المياه. وعندما تدخل تلك المياه المعدنية داخل فراغات الصخر وبين حبيباته، تترسب المواد المعدنية اللاحمة، وتعمل على تماسك الصخر والتحام جزيئاته بعضها بالبعض الآخر.

ب - التماسك *Compaction* والتجفيف الصخرى *Desication* :

فى حالة الرواسب الدقيقة الحبيبات مثل رواسب الصلصال والسليت *Silt*، حيث تكون الفراغات الصخرية دقيقة الحجم جداً يصبح من الصعب تغلغل المياه داخل فراغات الحبيبات الصخرية. ولكن مع ذلك قد تنجح بعض المواد المعدنية اللاحمة فى أن تحتل مواقع لها داخل الفراغات الصخرية، وتتم عملية تحويل الرواسب الى كتل صخرية مندمجة عن طريق عمليتى التماسك *Compaction* والتجفيف الصخرى *Desiccation*.

وفى عملية التماسك يقل حجم الفراغات الصخرية تبعاً للضغط الواقع على جزيئات الصخر بفعل الرواسب الصخرية التى تجمعت فوقها.

ويقصد بعملية التجفيف الصخرى تغلغل المياه فى الرواسب المسامية المفككة، ثم انسياب المياه من الرواسب ثانية أو قد تتعرض للتبخر، ومن ثم يصبح سطح الرواسب الرطب معرضاً لعملية التجفيف بمساعدة الهواء، وقد

يؤدى ذلك الى تماسك جزيئات الصخر والتحام بعضها بالبعض الآخر.

٣ - طباقية الصخور الرسوبية *Bedding* :

أ - الطبقات الصخرية :

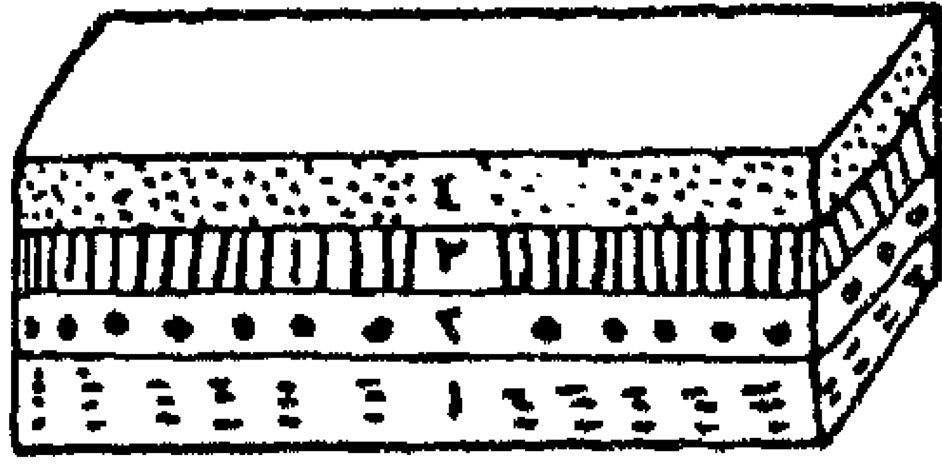
يتضح مما سبق أن الرواسب والمفتتات الصخرية قد تتجمع وتلتحم مع بعضها البعض لتكون فى النهاية طبقة من الصخور الرسوبية ذات سمك، يختلف من طبقة الى أخرى. وقد تستمر عملية الإرساب لمدة زمنية طويلة ويؤدى ذلك الى تكوين صخور رسوبية هائلة السمك مكونة من طبقات متعاقبة بعضها فوق البعض الآخر. ويمكن أن نحدد الطبقة الصخرية بأنها سمك ما من الصخور، متجانس الأجزاء الى حد كبير ويميزه عما يقع تحته أو فوق سطحان متوازيان هما أسطح الطبقات *Bedding Planes*.

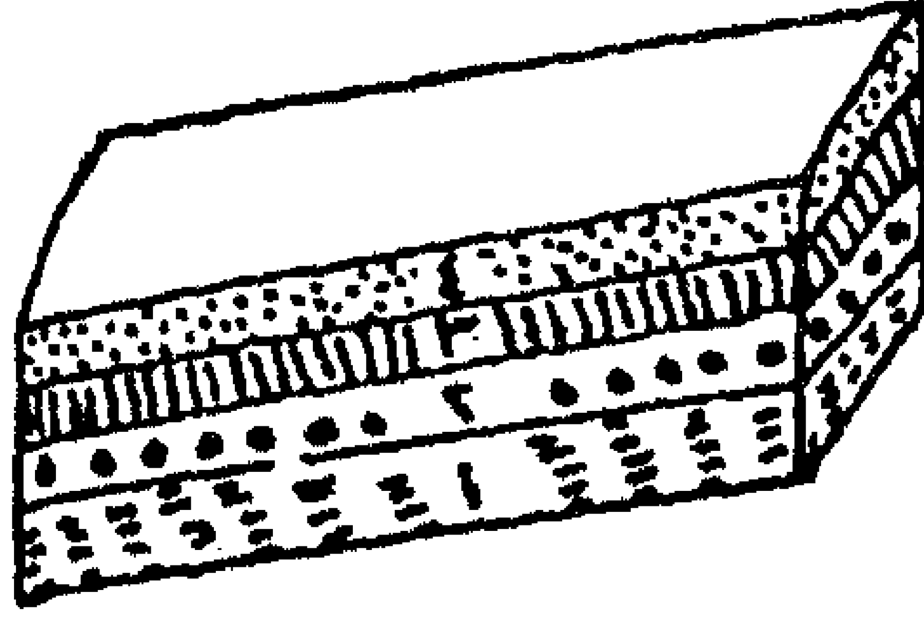
ب - أشكال الطبقات الصخرية :

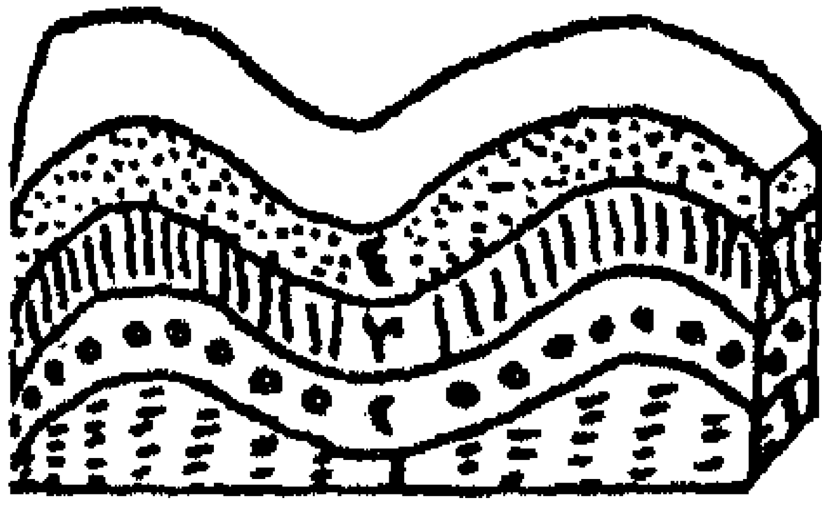
تظهر مجموعات عديدة من طبقات الصخور الرسوبية على شكل طبقات أفقية أو بمعنى آخر تمتد أسطح الطبقات مع الامتداد الأفقى لسطح الأرض ويصبح خط كنتور الطبقة موازياً لخط ارتفاع تكوينات الطبقة على سطح الأرض، ولكن تظهر مجموعات أخرى من الطبقات الرسوبية على شكل طبقات مائلة ميلاً بسيطاً أو ميلاً شديداً، أو على شكل ثنيات محدبة وأخرى مقعرة ويعزى السبب فى ذلك الى عاملين رئيسيين هما :

١ - شكل إمتداد السطح الأصلى الذى تراكمت فوقه الرواسب فإذا كان هذا السطح أفقى الامتداد تماماً ينجم عن ذلك تكوين طبقات أفقية فى حين أنه إذا كان له إنحدار ما يؤدى ذلك الى تكوين طبقات مائلة.

٢ - مدى تأثير الطبقات الرسوبية بحركات الثنى والطى التكتونية والتى قد تشكل الطبقات التى كانت أفقية أصلاً بأنماط مختلفة من الثنيات الصخرية (شكل ٢٦).







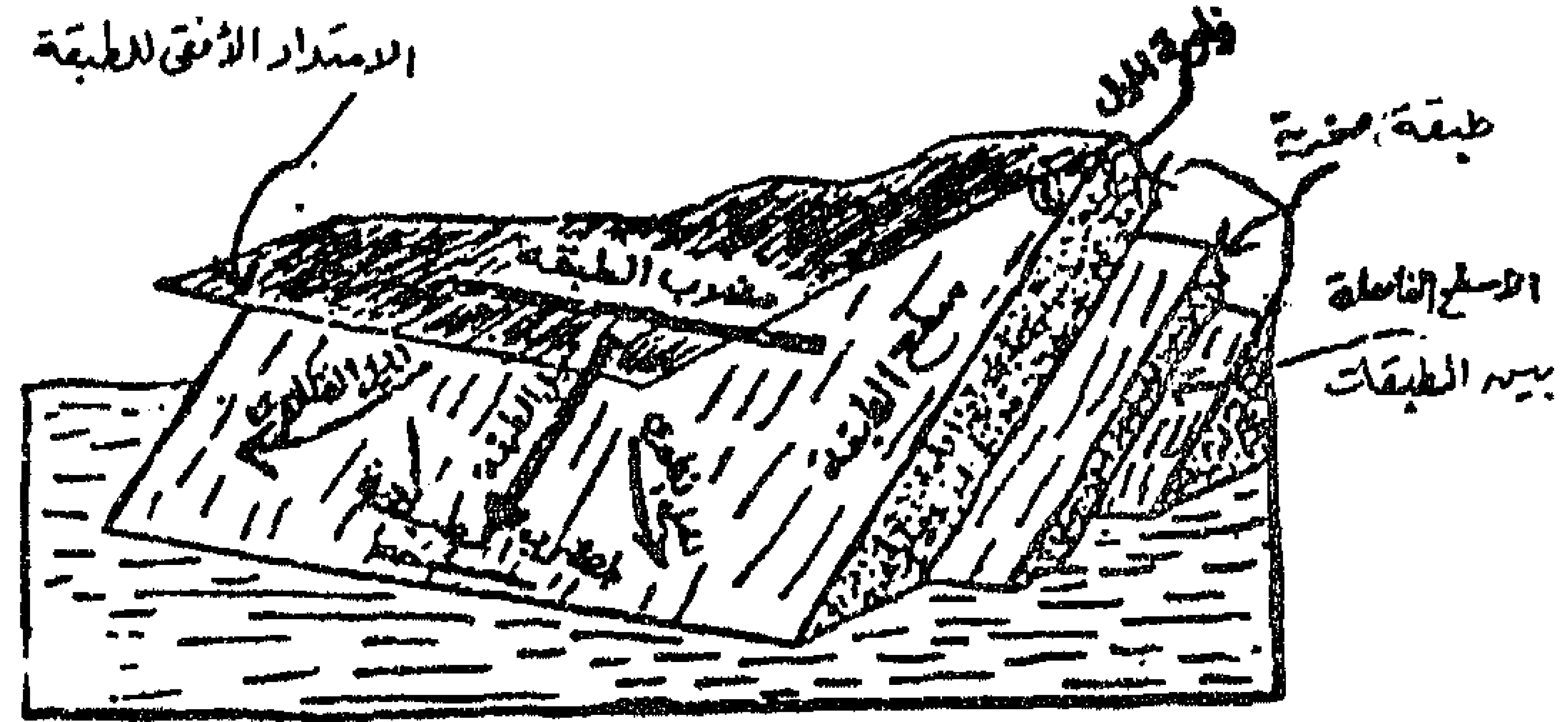
(شكل ٢٦) طبقات رسوبية فى أشكال مختلفة (أ) أفقية (ب) مائلة (جـ) ملتوية

جـ - ميل الطبقات Dip ومضرب الطبقات Strike :

فى حالة الطبقات الأفقية الامتداد تساوى درجة الميل، صفر، حيث يمتد ميل الطبقة مع نفس الامتداد الأفقى للطبقة. ولكن قد تميل الطبقات بدرجات مختلفة عن الامتداد الأفقى للطبقة وتعرف الزواية المحصور بين مستوى الطبقة وامتدادها الأفقى باسم ميل الطبقة *Dip* وتتدرج زواية ميل الطبقة *Amount or angle of dip* من صفر أى طبقة أفقية تماماً الى ٩٠° أى طبقة رأسية تماماً.

وتقاس هذه الزواية باستخدام آلة خاصة بسيطة تعرف باسم الكلينو متر *Clinometer*. وعند قياس ميل الطبقة يجب أن يوضع الكلينو متر فى اتجاه عمودى على الامتداد العام لمضرب الطبقات (الخط العمودى على ميل الطبقة)، ومن ثم يمكن أن نحدد اتجاه الميل *Direction of dip*.

وإذا قيست زواية ميل الطبقة فى اتجاه غير عمودى تماماً على مضرب الطبقات فنحصل على نتيجة ليست صحيحة بالنسبة لتحديد ميل الطبقة. ويطلق على ميل الطبقة فى هذه الحالة الأخيرة اسم الميل الظاهرى *Apparent dip* تمييزاً له عن الميل الحقيق للطبقة *True dip* (شكل ٢٧). ويطلق على الخط الوهمى العمودى اسم خط الظهور أو مضرب الطبقات *Strike line* ويعتبر هذا الخط الوهمى من المناطق الضعيفة جيولوجياً فى الصخر حيث تتشقق الصخور وتتكسر على طول امتداد هذا الخط. ويجب أن



(شكل ٢٧) رسم تخطيطى يوضح الميل الحقيق والميل الظاهرى للطبقة ومضرب الطبقة

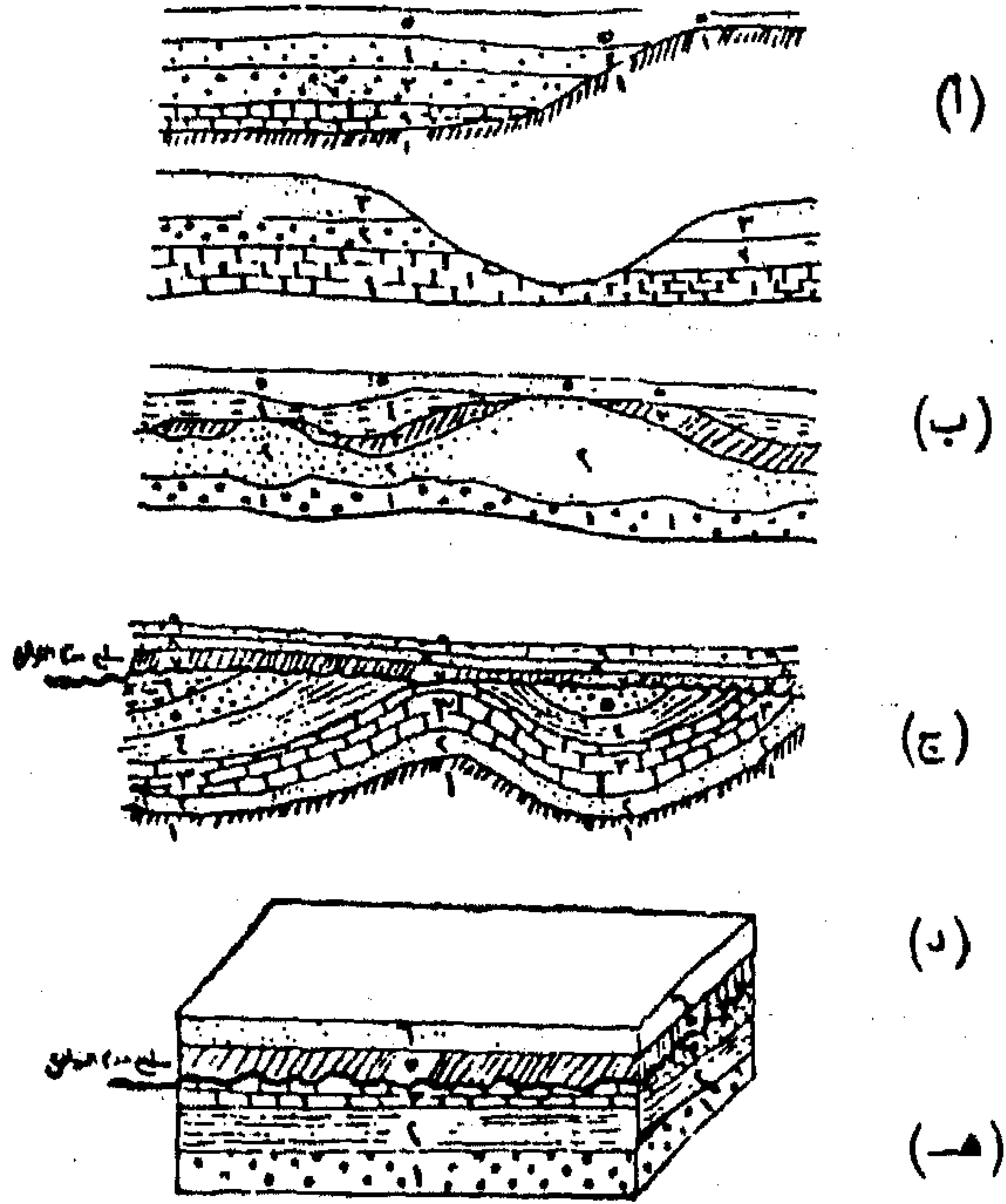
نضع فى الاعتبار بأنه يمكن إنشاء مئات بل آلاف من خطوط الظهور للطبقة الواحدة حيث أن كلاً منها ما هو إلا إتجاه أى خط عمودى ممتداً على ميل الطبقة.

٤ – الطبقات المتوافقة وغير المتوافقة :

Conformable and un-conformable beds

خلال عمليات تكوين الطبقات الإرسابية تتجمع الطبقات الأقدم عمراً فى البداية فوق السطح الأصلى الذى تتم فوقه عملية الترسيب، ثم تتجمع الرواسب الأحدث عمراً فوق أسطح الطبقات الإرسابية التى ترسبت قبلها. ومن ثم أدرك الجيولوجيون بأن القاعدة العامة فى عمليات الإرساب هو أن كل طبقة تعد أحدث عمراً من الطبقة التى تقع تحتها وأقدم عمراً من الطبقة الأخرى التى تقع فوقها. وعرف هذا القانون باسم قانون تعاقب الطبقات *Law of Superposition* كما يطلق على الطبقات فى هذه الحالة بأنها طبقات متوافقة.

وينبغى أن نضع فى الإعتبار بأن الطبقات المتوافقة لا يقتصر تمثيلها فى حالة الطبقات الأفقية فقى، بل قد تتعرض هذه الطبقات الأخيرة لحركات الثنى والطى، وقد تظهر على شكل ثنيات مقعرة وأخرى محدبة، ومع ذلك قد تظل محتفظة بتوافق طبقاتها (أنظر شكل ٢٨).



(شكل ٢٨) أشكال مختلفة لطبقات غير متوافقة

ويساعد الباحث فى تحديد الأزمنة الجيولوجية المختلفة التى تكونت خلالها كل من هذه الطبقات دراسته للحفريات التى قد تتمثل فيها ومتابعته لتطور نموها وتفرع عائلاتها المختلفة.

وقد يصادف الباحث فى بعض الأحيان طبقات رسوبية غير متوافقة أو بمعنى آخر لا تترتب طبقاتها ترتيباً منتظماً من أسفل الى أعلى بحسب العمر الجيولوجى. وقد يعزى عدم توافق الطبقات الى عوامل متعددة من بينها :

١ - ترسيب مواد الطبقات الرسوبية فوق سطح مائل كأن يكون انحدار حوض جيولوجى قديم، ومن ثم تتجمع الرواسب الأولى القديمة فى المناطق السفلى العميقة، فى حين يتراكم فوق الأجزاء العليا الضحلة، الصخور الأحدث عمراً (شكل ٢٨ ،أ).

٢ - فى المناطق التى تتأثر بعمليات تذبذب مستوى سطح البحر أو بإختلاف الظروف المناخية، كثيراً ما يلاحظ الباحث أن الطبقة الواحدة تختلف فى تكوينها من جزء الى آخر، كما يتنوع سمكها الحقيقى *True thickness* (الخط العمودى الواصل بين سطحى الطبقة) من مكان الى آخر فى نفس الطبقة، وأحياناً أخرى قد تتلاشى الطبقة الصخرية، ثم تبدأ تظهر من جديد فى منطقة أخرى (شكل ٢٨ ب، ٢٨ جـ).

٣ - تتكون عملية عدم التوافق بين الطبقات إذا تكونت طبقات رسوبية ثم تعرضت لعمليات الرفع التكتونية، وظهرت على السطح وتشكلت بفعل عوامل التعرية التى أزالت الأجزاء العليا من هذه الطبقات، ثم تعرضت المنطقة بعد ذلك لفترة تكونت خلالها طبقات إرسابية جديدة ترسبت فوق الطبقات الإرسابية الأولى - بعد أن أزيل منها بعض أجزائها بفعل عوامل التعرية - فينجم عن ذلك نماذج مختلفة من أشكال عدم توافق الطبقات (شكل ٢٨ د).

٤ - لا يقتصر حدوث الطبقات غير المتوافقة على الطبقات الرسوبية التى تعرضت للثنى والطى، بل قد تتمثل كذلك فى تلك الطبقات الأفقية التى لم تتأثر بمثل هذه الحركات التكتونية. وعلى سبيل المثال إذا تكونت طبقات إرسابية تحت سطح المحيط، ثم انحسرت عنها مياه المحيط نتيجة لانخفاض مستوى البحر، وبالتالى قد تعمل عوامل التعرية المختلفة على إزالة بعض أجزاء من الطبقات العليا لهذه التكوينات البحرية، ثم بعد ذلك تأتى فترة جديدة للإرساب وتتكون طبقات رسوبية جديدة (سواء فوق سطح الأرض أو فى أرضية المحيط) تترسب فوق الطبقات الرسوبية القديمة. وهكذا تكون الطبقات الصخرية غير متوافقة فى بعض المواقع، ومتوافقة تماماً فى مواقع أخرى (شكل ٢٨ هـ).

٥ - خصائص ثانوية أخرى تميز الصخور الرسوبية :

أ - التطابق الكاذب *False-beding* :

فى بعض الأحيان يتميز السطح الخارجى للطبقات الصخرية بالتطابق الكاذب حيث لا يدل مظهر سطح الطبقات الخارجى على تتابع حدوث الطبقات كما قد تنقسم الطبقة الواحدة الى عدة شعب ولكل منها له مظهر خارجى خاص به. ويتكون التطابق الكاذب فى حالة تعرض رواسب الصخور للتشكيل بواسطة تيارات مائية مختلفة من حيث الشدة والاتجاه. ومن ثم يظهر سطح الطبقة الصخرية الواحدة كأنه مكون من عشرات من طبقات لكل منها تموجات صخرية مختلفة.

ب - علامات التماوج *Ripple marks* :

يشاهد أحياناً فوق أسطح الصخور الرسوبية تموجات منتظمة الأشكال، إن دلت على شىء فإنما تدل على الظروف التى أدت الى تكوينها. فعندما تنحصر مياه البحر عن الساحل (فى المناطق التى تتعرض للمد والجزر مثلاً) تترك على سطح الرمال والرواسب علامات التماوج، وقد تتعرض الرواسب للتماسك والتجفيف وتحتفظ بهذا السطح المميز لفترة طويلة من الزمن الجيولوجى وتعمل الرياح فى الصحارى الحارة كذلك على تشكيل أجزاء واسعة من السهول الرملية بمثل هذه العلامات المنتظمة الشكل.

جـ - طابع نقط الأمطار *Rain splash cast* :

تبعاً لسقوط الأمطار بشدة فوق بعض الصخور الرسوبية، قد تحفر الصخور بثقوب مميزة كما قد تشقق بحذوذ طويلة سطحية بفعل المياه الجارية، وعندما يجف الصخر، قد يحتفظ بطابع نقط الأمطار وحذوذ المياه الجارية التى تشكل السطح الخارجى للصخر، ويطلق على مثل هذا الصخر تعبير التركيب الجدولى *Rill Structure*.

د - التشققات الطينية أو الشمسية *Mud or Sun Cracks* :

عندما تتعرض أسطح الطبقات الطينية للأشعة الشمسية القوية سرعان ما تتبخر المياه وتقل رطوبة الرواسب الطينية، وينجم عن جفاف الطين انكماشه وتشققه. ويلاحظ بأن الطين يتشقق عادة فى أشكال سداسية الجوانب كمثل شكل خلايا النحل. وفى مرحلة متأخرة قد تمتلأ الفراغات السداسية الشكل الفاصلة بين الطين بواسطة الرمال ومن ثم تعمل هذه الأخيرة كمادة لاحمة تحتفظ بالشكل الظاهرى لسطح الطين لفترة طويلة من الزمن. وإذا إمتلأت الفراغات السداسية غير المنتظمة الشكل برواسب جيرية لاحمة قد تنفصل أجزاء الطين بعضها عن البعض الآخر وتصبح على شكل حواجز بارزة، ومن ثم يطلق على الصخر فى هذه الحال تعبير الصخر المفصول *Septaria Stone*.

هـ - العُقيدات الصخرية *Nodules* :

قد يلاحظ فى بعض الطبقات الرسوبية وجود عقيدات صخرية مستديرة الشكل مبعثرة داخل الصخور ويختلف تركيبها الكيميائى عن الصخور المدفونة فيها. كما قد تتمثل فى بعض الأحيان على شكل خطوط متقطعة متوازية الامتداد العام لأسطح الطبقات. وتعزى نشأة العقيدات الصخرية الى تسرب مياه معدنية داخل الصخر، وقد تتجمع المياه حول نواة صغيرة الحجم لأجزاء من بقايا نباتات وهياكل حيوانات مدفونة فى الصخر. وعندما تتبخر المياه تتراكم الأملاح والمعادن اللاحمة وتعمل على تكوين العقد الصخرية المبعثرة فى الصخور الإرسابية، وتختلف أشكال العقيدات الصخرية كما تتعدد معادنها تبعاً لظروف نشأنها، ويمكن أن نميز منها العقيدات الصخرية الكروية *Nodules*، والأخرى البيضاوية *Concretions*، ومجموعة ثالثة غير منتظمة الشكل *Geodes*.

و - الحفريات *Fossils* :

يقصد بالحفريات كل مادة تتكون من أصل عضوى سواء أكانت نباتية أو حيوانية، ودفنت لفترة طويلة فى الصخر، واستطاعت أن تحتفظ بنفسها أو صورتها أو طابعها أو بأشكال الأجزاء الصلبة منها فى الصخر على مر الزمن. ومن ثم يساعد على احتفاظ الحفريات فى الصخور أن تدفن البقايا العضوية بعد هلاكها مباشرة فى الصخر حتى لا تتعرض لعوامل التعرية، كما يحسن أن يكون لهذه البقايا العضوية أجزاء صلبة تقاوم عمليات التفكك والتحلل.

وإذا كانت الصخور النارية لا تتضمن أى حفريات تبعاً لظروف نشأتها فى باطن الأرض فإن الصخور الرسوبية قد تحتوى على حفريات، أما الصخور المتحولة فقد تحتوى على حفريات إذا ما كانت من أصل رسوبى ولا تحتوى على حفريات إذا ما كانت من أصل نارى. وقد تساهم الصخور الحاوية على الحفريات *Fossiliferous beds* على تحديد البيئة الترسيبية التى تكونت خلالها تلك الطبقات ومعرفة الأزمنة الجيولوجية التى ترسبت إبانها، وتقدير موقع تلك الطبقات بالنسبة لبقَية المقياس الزمنى الجيولوجى الطويل.

تصنيف الصخور الرسوبية وبعض نماذج لانواعها المختلفة

جرى العرف بين الجيولوجيين على تصنيف الصخور الرسوبية تبعاً لإختلاف نشأتها وظروف تكوينها الى ثلاث مجموعات رئيسة تشمل :

١ - الصخور الرسوبية الميكانيكية أو الحطامية :

Mechanical or Clastic Rocks

ويقصد بذلك مجموعات الصخور الرسوبية التى تتألف حبيباتها تبعاً لتآكل

وتحطيم الصخور القديمة (مهما كان نوع نشأتها نارية أو رسوبية أو متحولة). وتساعد عمليات التجوية *Weathering* والتعرية *Erosion* على تفتيت الصخور الأصلية الى أجزاء وحبيبات صغيرة ثم تنقل هذه المفتتات بواسطة عوامل النقل المختلفة الى أن تتجمع فى النهاية وتتماسك وتتلاحم أجزاء المفتتات بعضها مع البعض الآخر لتكون الصخور الميكانيكية أو الحطامية فى نفس مواقعها التى تفتت منها. ومن بين أمثلة هذه المجموعة الصخور الرملية والطينية وصخور المجمعات والبريشيا.

٢ - الصخور الرسوبية الكيميائية *Chemical Rocks* :

تتكون هذه المجموعة من الصخور نتيجة لترسيب مركبات معدنية مختلفة بعد تبخر المياه وبعض المحاليل التى كانت مذابة فيها، ومن ثم تنتشر مثل هذه المجموعة من الصخور فى المناطق التى تتعرض بشدة لفعل التبخر وخاصة في الصحارى الحارة الجافة. كما قد تتراكم بعض الصخور الرسوبية الكيميائية حول فوهات الينابيع والنافورات الحارة. ومن أكثر أنواع هذه المجموعة من الصخور شيوعاً الملح والجبس وبعض أنواع الحجر الجيرى (من أصل كيميائى)، ورواسب الينابيع الحارة والرواسب الجيرية فى الكهوف والمغارات الجيرية.

٣ - الصخور الرسوبية العضوية *Organic Rocks* :

تتألف هذه المجموعة من الصخور من مركبات مصدرها بقايا الحيوانات والنباتات المختلفة. ففى البحار تتجمع بقايا وهياكل الحيوانات البحرية مثل المرجان والدياتوم والراديوليرا، والكوكوليث والفورامنيفرا فوق أرضية المحيط، وبمرور الزمن الجيولوجي تتحول هذه الرواسب الى صخور الأوز العضوية *Organic Oozes* السليكية والجيرية. وفوق سطح الأرض قد تضمحل الغابات وتتراكم جذوع الأشجار وتدفن تحت فرشات هائلة من الرواسب ومن ثم تؤلف طبقات الفحم وفى بعض الأحيان قد تتكون الصخور الرسوبية، نتيجة لترسيب كيميائى عضوى بفعل نشاط بعض الحيوانات والنباتات التى تساعد

على تشكيل بيئة ترسيبية خاصة بحيث يتكون فيها بعض أنواع المعادن كما هو الحال بالنسبة لحديد المستنقعات *Bog-iron ore*.

نماذج لبعض انواع الصخور الرسوبية

أولاً : الصخور الرسوبية الميكانيكية

ا - الصخور الحصوية والصخور الرملية :

قد تتألف الصخور الرسوبية من الحصى والحصباء وفتات الصخور الأولية، وفى هذه الحالة تعرف باسم الصخور الحصوية. وحسب مقياس وينتوارث اتفق الجيولوجيون على إعتبار أن الحبيبات الصخرية التى يتراوح قطرها من ٢ - ١٠ سم تسميتها باسم الحصى *Gravels* . وإذا كانت أكبر من ذلك حجماً فتعرف باسم الجلاميد *Boulders* كما أن الرمال تصنف الى مجموعات مختلفة وفقاً لإختلاف حجم حبيباتها ومنها الرمال الخشنة والرمال المتوسطة والأخرى الناعمة. وإذا كانت الرمال تؤلف التكوين العام للصخر فيعرف الأخير فى هذه الحالة باسم الصخر الرملى. ولكى يتكون مثل هذا الصخر ينبغى أن تكون هناك مادة لاحمة تعمل على تماسك الذرات الرملية مع بعضها البعض، وإذا كانت المادة اللاحمة من الجير فيعرف الصخر برسم الحجر الرملى الجيرى *Calcareous Sandstone* وإذا كانت المادة اللاحمة من السليكا فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى السليكى *Siliceous Sandstones* وإذا كانت هذه المادة حديدية فيعرف الصخر باسم الحجر الرملى الحديدى *Ferrugenous Sandstones*.

ب - صخور المجمعات المستديرة الحبيبات ـ الكونجلومرات : *Conglomerates*

وتتركب هذه الصخور من مفتتات صخرية تتميز حبيباتها بأنها بيضاوية

ومستديرة الشكل. وتعزى هذه الاستدارة الى تأثير التعرية المائية النهرية (أو تكون الحبيبات بيضاوية الشكل) أو البحرية (تكون الحبيبات مبططة الشكل) فى تشكيل الحبيبات الصخرية التى تتركب عادة من الكوارتز. وقد تتجمع هذه الحبيبات الصخرية المستديرة الشكل وتندمج وتتماسك مع بعضها البعض بفعل مواد لاحمة مثل السليكا أو كربونات الكالسيوم أو أكاسيد الحديد وتكون الصخر المعروف بالكونجلومرات.

جـ - صخور المجمعات الحادة الحبيبات *Breccia* :

تتفق هذه المجموعة من الصخور مع صخور المجمعات من حيث النشأة وعمليات التكوين إلا أنه فى هذه الحالة يلاحظ بأن الصخر يتكون أساساً من حبيبات حادة الحواف ذات أطراف مدببة ومقشوطة. وإن دل شكل هذه الحبيبات الحادة على شيء فإنما يدل على أن معادنها قد تعرضت لعمليات التجوية الطبيعية وخاصة التمدد والانكماش بفعل اختلاف درجات الحرارة، أو أنها تشكلت بفعل الرياح أو بفعل الجليد.

د - الصخور الطينية *Argillaceous Rocks* :

وهى مجموعة من الصخور الرسوبية الميكانيكية الدقيقة الحبيبات، حيث يبلغ متوسط قطر الحبيبات الطينية نحو ٠,٥ ملم. وعندما ترتفع نسبة الرطوبة أو المياه داخل الصخور الطينية يصبح الصخر شديد اللزوجة وحين يتعرض الصخر للجفاف تتماسك حبيبات الصخر، وتلتحم مع بعضها البعض بفعل التماسك والانضغاط، ويصبح صخراً متماسكاً دون حاجة الى مادة لاحمة.

وإذا كانت الرواسب الطينية متجانسة ومندمجة الأجزاء فقد تؤدى الى تكوين صخر طينى سميك الطبقات وهو ما يعرف بالحجر الطينى *Clay or mudstone* أما إذا كانت كل طبقة رقيقة من الطين تختلف عن الطبقة التى أرسبت قبلها حتى ولو كان اختلافاً بسيطاً فى التركيب الصخرى فقد يؤدى هذا الى تكوين الصخر الطينى الصفائحى *Laminated* الرقيق السمك.

ويمكن أن نميز مجموعات مختلفة من الصخور الطينية من بينها الكاولين *Kaolin* المائل الى اللون الأبيض والمكون من معدن الكاولينيت بعد تحلل الفلسبار. ويعرف أحياناً باسم الطين الصينى *China Clay* حيث يستخدم فى صنع الأوانى الخزفية. وعندما يختلط الطين بالرمال يصبح لونه يميل الى الاصفرار ويعرف بالطين الرملى أو صخر اللوم *Loam* فى حين إذا ارتفعت نسبة كربونات الكالسيوم فى الطين فيعرف الصخر باسم الطين الجيرى أو المارل *Marl* وإذا زادت نسبة معدن المونتموريلونيت *Montmorillionite* فى الطين فيكتسب الصخر اللون الأخضر. وإذا ما انخفضت نسبة المواد الجيرية فى الطين فإنه يصبح مناسباً لإستخدامه فى تبطين الأفران الكهربائية لتحمله درجات الحرارة العالية، ويعرف فى هذه الحالة باسم الطين النارى أو الطين الحرارى *Fire or Refractory Clay*.

ثانيا: الصخور الرسوبية الكيميائية

١ - الصخور الجيرية الكيميائية :

Chemically-Formed Limestones

تتكون الصخور الجيرية الكيميائية فى عدة صور مختلفة إلا أن أسباب تكوينها يعزى الى إرساب كربونات الكالسيوم وتراكمها بعد تبخر المحاليل التى كانت تحتويها. فقد ينبثق مع مياه العيون المعدنية الجيرية والنافورات الحارة كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم التى تتراكم بدورها حول هذه العيون المائية مكونة للمدرجات والمصاطب الجيرية. ومثل هذه الرواسب الجيرية قد تمثل رواسب السنتر السيلكى *Siliceaus Sinter* ورواسب الترافرتين *Travertine* . وقد تشاهد رواسب الترافرتين فوق أرضية الكهوف والمغارات الجيرية وأراضيها كذلك فتشاهد الأعمدة الجيرية النازلة *Stalactites* وذلك تبعاً لتجمع كربونات الكالسيوم فى أسقف الكهوف، والأعمدة الجيرية

الصاعدة *Stalagmites* التى تشير أطرافها الى أسقف الكهوف. وقد تتجمع رواسب جيرية متبلورة على شكل عروق نقية من كبريتات الكالسيوم مع الماء داخل كتل جيرية أخرى غير نقية. ويعرف الصخر فى هذه الحالة باسم الألبستر أو المرمر المصرى *The Egyptian Alabaster* واستخدم هذا الصخر فى صنع بعض التماثيل الفرعونية وأعمدة بعض المساجد الشهيرة مثل مسجد محمد على الكبير بالقاهرة.

ب - الجبس *Gypsum* :

عندما يوجد فى بلورات صغيرة وبكميات محدودة فيعتبر فى هذه الحالة من مجموعة المعادن ولكن إذا تمثلت تكوينات الجبس (كبريتات الكالسيوم مع الماء) فى كتل كبيرة الحجم فتعتبر فى هذه الحالة الأخرى صخوراً. ويتكون الجبس كيميائياً بعد تبخر مياه البحار الضحلة والبحيرات الشاطئية وتراكم كبريتات الكالسيوم، وكثيراً ما يمتزج الجبس مع أنواع ثانوية من الصخور الكيميائية الأخيرة مثل الأنهيدريت *Anhydrite* والملح الصخرى *Rock Salt* ليكون تلال شاطئية متوسطة الارتفاع.

جـ - الملح الصخرى *Rock Salt* :

تتكون رواسب الأملاح المختلفة بعد ترسيبها من مياه البحار الضحلة والبحيرات التى تتعرض أسطحها لفعل التبخر المستمر. ومن ثم قد تترسب مجموعات مختلفة من الأملاح ومن بينها الكلوريدات والكبريتات والكربونات والأزوتات. وقدر العلماء بأن كل ١٠٠٠ جزء من مياه البحر تحتوى ٣٥ جزءاً من الأملاح ومعظمها من مجموعات الكلوريدات. وقد تظهر رواسب الأملاح على السطح بعد تبخر المياه البحرية أو الساحلية الضحلة، ولكن قد تظهر القباب الملحية *Salt Domes* داخل تكوينات صخرية قديمة تبعاً لتسرب المياه الملحية داخل الصخر ثم بعد تبخر هذه المياه تترسب الأملاح على شكل قباب ملحية كما هو الحال فى مناطق متفرقة من جنوب تكساس فى الولايات المتحدة الأمريكية (شكل ٢٩).



(شكل ٢٩) القباب الملحية

ثالثاً : الصخور الرسوبية العضوية

تتألف هذه المجموعة من الصخور من تراكم بقايا النباتات وهياكل الحيوانات المختلفة، وقد تتم عملية تراكم هذه المواد العضوية فى بيئات ترسيبية متنوعة كما هو الحال فى البحار العميقة أو المستنقعات الساحلية أو فوق سطح الأرض. وعندما تنطمر هذه الكائنات البحرية وتتماسك فتاتها تكون صخور رسوبية مؤلفة من الكائنات العضوية. ومن بين هذه المجموعة كل من الصخور الجيرية العضوية والصخور الفوسفاتية والصخور الكربونية وخاصة طبقات الفحم.

أ - الصخور الجيرية العضوية :

Organically-formed Limestones

تعد هذه المجموعة أكثر أنواع الصخور الجيرية انتشاراً على سطح الأرض، وتمثل نسبة كبيرة من التكوين الصخرى العام لقشرة الأرض، وتتألف عامة من بقايا وفتات الحيوانات البحرية التى لها القدرة على استخلاص المواد الجيرية من المياه واستخدامها فى بناء هياكلها وقشورها وأصدافها. ومن ثم عند فناء هذه الحيوانات تتلاشى المواد الهلامية المكونة للكائن نفسه وتتساقط

الهياكل والقشور الجيرية (إن استطاعت مقاومة عملية ذوبانها فى المياه) وتتراكم فوق قاع البحر. وبمرور الأزمنة الجيولوجية ونتيجة للضغط الواقع عليها وتداخل بعض المواد اللاحمة بين ذراتها تلتحم هذه الرواسب وتكون الصخور الجيرية العضوية.

وتكون كائنات النومولييت الصخر المعروف باسم قروش الملائكة أو الحجر النوموليتى *Nummulitic* وهو صخر جيرى ناصع البياض مكون أساساً من محارات نوموليتية مستديرة أشبه بشكل قطع النقود المعدنية. فى حين تساهم كائنات الفورامنيفرا فى تكوين الصخور الطباشيرية والذى شاع تكوينه خلال العصر الطباشيرى ـ الكريتاسى *Cretaceous*.

ب – صخر الفوسفات *Phosphate Rock* :

يتضح من اسم الصخر أنه يتركب أساساً من فوسفات الكالسيوم، نتيجة تحلل عظام وهياكل وأطراف بعض الكائنات البحرية. وتستغل رواسب هذا الصخر فى عمليات تخصيب الأراضى الزراعية. وتتمثل طبقات الفوسفات فى جمهورية مصر العربية فى مناطق متفرقة خاصة بالقرب من سفاجة والقصير على ساحل البحر الأحمر وبوادى النيل بالقرب من السباعية وإسنا وفى الواحات الخارجة والداخلة.

جـ – الرواسب الفحمية *Coal-Measures* :

عندما تندثر النباتات وأفرع الأشجار وجذوعها وتنطمر تحت رواسب سميكة وتتعرض لعميات الإنضغاط تتفحم أو تتكربن بالتدريج وخلال فترات طويلة من الزمن الجيولوجى تصبح طبقات مختلفة من الفحم. وتبعاً لحجم المواد النباتية المنطمرة وطول الزمن الجيولوجى التى تكونت خلاله ومدى الضغط الواقع عليها يميز الباحثون مجموعات مختلفة من الرواسب والطبقات الفحمية.فالبيت أو اللبد النباتى *Peat* عبارة عن نباتات غير كاملة التفحم ولا تزال أغصان النباتات فيه مفككة وتشبه الى حد كبير «البرسيم المضغوط»

وتتميز طبقاتها باللون البنى وأنها اسفنجية النسيج وعالية المسامية، وتنتشر فى مناطق المستنقعات *Peat Bogs* بالمناطق المعتدلة والباردة ويعد «البيت» أفقر التكوينات الفحمية إذ لا تزيد نسبة الكربون فيه عن ١٠٪ فضلاً عن كثرة الشوائب والرمال المنطمرة مع هذه الرواسب.

أما فحم اللجنيت *Lignits*، فهو الآخر عبارة عن نباتات منطمرة إلا أنها أقدم عمراً من اللبد النباتى، واندثرت فى معزل عن الهواء الخارجى نسبياً، ومن ثم تقل فيه الشوائب وترتفع فيه نسبة الكربون حتى تصل الى نحو ٧٠٪، وأجزائه متماسكة سوداء أو تميل الى اللون البنى الغامق وتسمى تبعاً لذلك بالفحم البنى *The Brown Coal* وتتمثل طبقات هذا الفحم مع تكوينات الزمن الجيولوجى الرابع.

ومن بين أحسن أنواع الفحم من حيث الطاقة الحرارية الكامنة فيه هو الفحم الحجرى *Coal* ويبدو هذا الفحم على شكل طبقات رقيقة السمك (تتراوح من بضعة سنتيمترات ونادراً ما يزيد سمك الطبقة الواحدة عن ٢ م) ذات لون أسود قاتم، شديدة الاندماج ولا يبدو فيها أى أثر لبقايا الكائنات النباتية اللهم إلا بعض طوابع لأشكال أوراق الأشجار القديمة التى اندثرت وتحللت بعد أن تركت طابعها فى الصخر [(١)].

ويمكن أن نميز نوعين رئيسيين من الفحم الحجرى هما :

١ - الفحم البيتومينى *Bituminous* وهو أسود اللون وتصل نسبة الكربون فيه الى نحو ٨٠٪ وعند لمسه يترك أثراً أسوداً فى اليد نتيجة لليونته، ومن ثم يعرف أيضاً باسم الفحم اللين *Soft Coal* أو القطرانى.

٢ - فحم الانثراسيت *Anthracite* وهو أسود اللون كذلك إلا أن نسبة الكربون

---

(١) تكونت طبقات الفحم من انطمار أشجار كبيرة الحجم وأخرى كانت تنمو فى بيئة المستنقعات ومن بين أهم هذه المجموعات الشجرية تلك المعروفة باسم لبيدودندرون Lepidodenderon وسجيلاريا Sigillaria وكلاميتس Calamites.

فيه مرتفعة جداً وتزيد عادة عن ٩٠ ٪ من جملة وزنه، ويتميز بعظم اندماج كتلته وشدة صلابته ومن ثم يعرف باسم الفحم الصلب *Hard Coal* ويعد أعلى أنواع الفحم من حيث الطاقة الحرارية الكامنة فيه.

ثالثاً : الصخور المتحولة

Metamorphic Rocks

يقصد بمجموعة الصخور المتحولة تلك الصخور التى تحولت عن حالتها الأصلية الأولية الى حالة أخرى جديدة لم تكن عليها من قبل، وقد يكون هذا التغير الذى طرأ على الصخر تغيراً فى طبيعة النسيج الصخرى أو إختلافاً فى التركيب المعدنى أو فى الاثنين معاً. وكثيراً ما يتولد فى الصخور المتحولة معادن جديدة لم تكن موجودة من قبل فى الصخور الأصلية سواء أكانت من أصل نارى أو من أصل رسوبى. وتتم عمليات التحول الصخرى تبعاً لتأثير الحرارة الشديدة أو بفعل الضغط الشديد أو نتيجة لتأثير الحرارة والضغط الشديد معاً ويؤدى ذلك الى إعادة الترتيب الذرى لمعادن التكوينات الصخرية ويختلف حجم الصخور المتحولة تبعاً لشدة العوامل التى أدت الى عمليات التحول.

الخصائص العامة للصخور المتحولة :

(١) النسيج الصخرى *Texture* :

قد يتركب نسيج الصخور المتحولة من حبيبات خشنة أو متوسطة أو دقيقة كما هو الحال فى كل من الصخور النارية والرسوبية، ولكن أهم ما يميز الصخور المتحولة ليس فقط اختلاف حجم الحبيبات الصخرية بل كيفية ترتيب هذه الحبيبات بعد إعادة الترتيب الذرى لمعادنها. ومن ثم يمكن أن نلاحظ

نوعين مميزين من النسيج الصخرى فى الصخور المتحولة هما :

(١) النسيج الصخرى الورقى *Foliated texture* :

حيث تترتب حبيبات الصخر نتيجة لعمليات التحول ترتيباً خاصاً، وتظهر غالباً على شكل خطوط طولية رقيقة متوازية متجاورة وتمتد فى اتجاه عام مع اتجاهات التشقق الصخرى. وينقسم النسيج الورقى تبعاً لخصائص عملية التصفح أو التورق الى أنماط ثانوية من بينها :

أ - النسيج الإردوازى *Slaty texture* والنسيج الفليتى *Phyllitic textre* والنسيج الشيستوزى *Schistose texture* والنسيج النيسى *Gneissic texture* :

ب - النسيج الصخرى غير الورقى *Un Foliated texture* :

لا يتمثل هذا النسيج إلا فى مجموعة محدودة جداً من الصخور المتحولة، حيث يصعب على الملاحظ أن يحدد اتجاهات معينة للتشقق الصخرى، أو اتجاهات ثابتة لتكسر أسطح الصخر وتبدو الحبيبات الصخرية غير منتظمة الترتيب أو بمعنى آخر غير صفائحية المظهر.

(٢) التركيب المعدنى :

على الرغم من تنوع التركيب المعدنى للصخور المتحولة إلا أنه يمكن أن تميز الى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ - صخور متحولة تتألف أو تكاد تتألف أساساً من معدن واحد، ويطلق الجيولوجيون عليها اسم الصخور ذات المعدن الواحد *Monomineralic* ومن بين هذه المجموعة الرخام *Marble* الذى يتألف أساساً من الكلسيت والكوارتزيت الذى يتألف من الكوارتز. وتتميز هذه المجموعة من الصخور بكونها غير ورقية النسيج، أو أن مظهرها الورقى الصفائحى ضعيف جداً *Foliated or sheet structure*.

ب - بقية الصخور المتحولة يتألف كل منها من معدنين أو أكثر ويطلق عليها الصخور المكونة من معادن متعددة *Multimineralic* ويلاحظ بأن أغلب الصخور المتحولة المكونة من معدنين أو أكثر تبدو أساساً ورقية أو صفائحية النسيج، وقليل منها مثل الصخور الرنانة - الهورنفلز *Hornfels* غير ورقية النسيج.

ويلاحظ بأن الصخور المتحولة تتألف عامة من نفس مجموعات المعادن المكونة للصخور النارية والرسوبية وذلك مثل معادن الكوارتز، والكلسيت، والفلسبار الأورثوكلازى والبلاجيو كلازى والميكا والأوجيت ولكن نتيجة لعمليات التحول الصخرى المختلفة قد تنشأ معادن جديدة فى الصخور المتحولة من النادر أن نجدها ممثلة فى مجموعتى الصخور النارية أو الرسوبية ومن بين هذه المعادن الجديدة الديوبسيد *Diopside* والترموليت *Tremolite*، والسيلمنيت *Sillimanite* ، والكاينيت *Kyanite* ، والاندولسيت *Andalusite*، والستوروليت *Staurolite* ، والأبيدوت *Epidote* . ونتيجة لإختلاف كل من النسيج الصخرى والتركيب المعدنى يمكن أن نرجح تصنيفاً مبسطاً للصخور المتحولة يتلخص فى الجدول الآتى [1] :

نوع النسيج الصخرى	صخور مكونة من معدن واحد	صخور مكونة من معدنين أو أكثر
صخور غير ورقية صخور ورقية	الكوارتزيت - الرخام -	الهورنفلز (الصخر الرنان) الاردواز - الفيليت الشيست - النيس

(1) William Lee Stokes and Sheldon Judson, "Introduction to geology", Prentice Hall N. J., (1968), p. 95.

أنماط التحول الصخرى *Types of Metamorphism* :

يمكن أن نميز الأنواع الآتية من أشكال التحول وذلك فى ضوء كيفية حدوث عمليات التحول نفسها :

١ - التحول الصخرى الحرارى *Thermal Metamorphism* :

وتتم عملية التحول الصخرى فى هذه الحالة بفعل الحرارة الشديدة، وقد يكون مصدر هذه الحرارة العالية المواد المنصهرة فى باطن الأرض وانسيابها الى أعلى أو بفعل مواد الماجما المنصهرة المنحبسة داخل القشرة الأرضية.

٢ - التحول الصخرى الديناميكى *Dynamic Metamorphism* :

وتحدث عملية التحول الصخرى هذه بفعل الضغط الشديد الواقع فوق الصخور، وينجم عن ذلك تغيير عام فى النسيج الصخرى وإعادة الترتيب الذرى لمعادن الصخر بل وإحلال معادن جديدة فى الصخر الأصلى. وعندما تتحول الصخور عن حالتها الأصلية الى حالة جديدة بفعل كل من الحرارة والضغط معاً فيعرف التحول هنا باسم التحول الديناميكى الحرارى *Dynamothermal metamorphism*.

٣ - التحول الصخرى التماسى أو الاحتكاكى :

Contact metamorphism

وتحدث عملية التحول فى هذه الحالة نتيجة تماس الصخر بمواد مصهورة ساخنة تعمل بدورها على تغيير أيونات الصخر وتعديل التركيب الذرى والمعدنى للصخر الأصلى. وعلى ذلك فقد يحل محل أيونات الصخور الأصلية معادن أخرى جديدة بفعل الغازات الساخنة وخاصة فى منطقة التماس، ولكن كلما بعدنا عن هذه المنطقة يقل تأثير التماس الصخرى، وتقتصر عملية تغيير معادن الصخر على بعض المعادن القابلة للتغيير، وفى النهاية يتلاشى تأثير التحول التماسى.

٤ - التحول الصخرى الإقليمى *Regional metamorphism* :

عندما يشتد تأثير عمليات التحول بحيث تشغل مساحات واسعة تمتد لآلاف من الأميال المربعة، ويظهر تأثيرها فى صخور هائلة السمك قد تبلغ عدة آلاف من الأقدام، فإن التحول الصخرى فى هذه الحالة يعرف باسم التحول الإقليمى.

وخلال عمليات التحول الإقليمى تنشأ فى الصخور معادن جديدة بفعل الضغط والحرارة معاً ولم تكن ممثلة فيها من قبل، ولا تتمثل هذه المعادن فى الصخور النارية أو الرسوبية ومن بين هذه المعادن السليمنيت والكاينيت والأندلوسيت.

نماذج لبعض الصخور المتحولة :

تسمى أنواع الصخور المتحولة المختلفة فى معظم الأحيان وفقاً لأشكال نسيجها الصخرى وفى بعضها الآخر تبعاً لوفرة معدن ما فى تكوينات الصخر، ومن بين أكثر الصخور المتحولة شيوعاً فى قشرة الأرض ما يلى :

الإردواز *Slate* :

يتكون هذا الصخر المتحول أساساً عن الصلصال فى المناطق القليلة التأثير بعمليات التحول ويتألف من حبيبات صخرية دقيقة الحجم جداً، ويتشقق الصخر على شكل صفائح رقيقة جداً موازية لبعضها البعض نتيجة لتعديل اتجاه المعادن المسطحة المبيطة الشكل والدقيقة الحجم بفعل عمليات التحول. وتتحول بعض المعادن الصلصالية بفعل عمليات التحول كذلك الى الكلوريت والميكا. وإذا تميز الاردواز بلونه الداكن فيعزى ذلك الى كثرة وجود المواد الكربونية أو الحديدية فى الصخر.

الفيليت *Phyllite* :

يشبه صخر الفيليت، صخر الاردواز من حيث التركيب المعدنى إلا أن

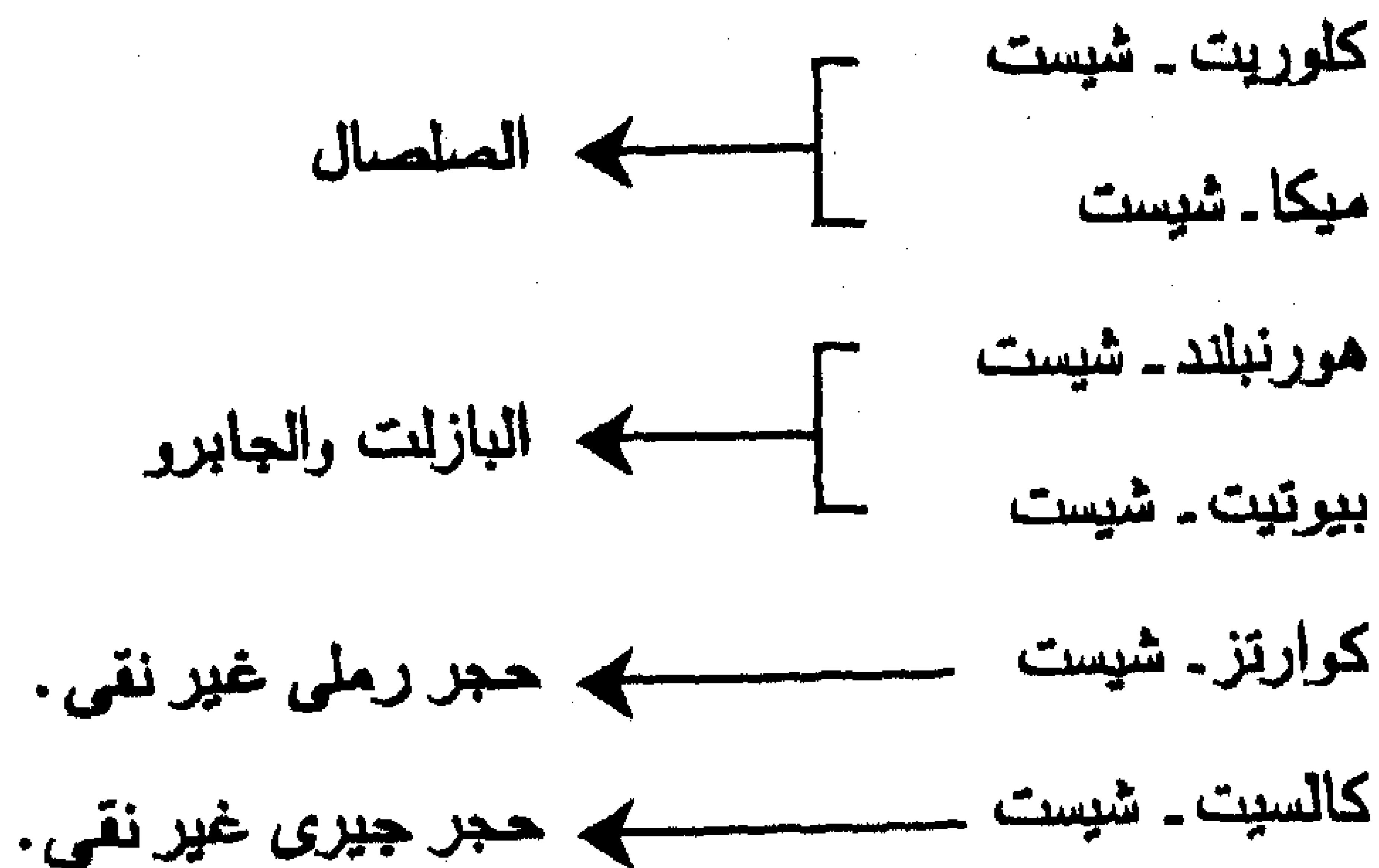
حبيباته أكبر حجماً من تلك فى حالة الإردواز. وعندما يتعرض الإردواز لدرجات حرارة عالية تتراوح من ٥٠٠ْ الى ٦٠٠ْ ف (٢٥٠ْ م – ٣٠٠ْ م) فإن معادن الكلوريت والميكا تكبر حجماً، ويتحول الصخر الى الفيليت .ويتميز سطح هذا الصخر بانصقاله وكأنه منكسر حديثاً *Fresh broken* وأكثر المعادن شيوعاً فى صخر الفيليت هى الكلوريت والميكا البيضاء وبه قليل من التورمالين والجارنت.

الشيست *Schist* :

يكثر وجود صخر الشيست فى مناطق التحول الإقليمى. ويتميز الشيست ببلوراته الدقيقة الحجم، وبنسيجه الورقى، والمعروف بالنسيج الشيستوزى. وقد تؤدى الميكا الى فصل صفائح الشيست بعضها عن البعض الآخر حيث تتركز الميكا على شكل وريقات صفائحية رقيقة جداً وتنفصل كل وريقة عن الأخرى بواسطة صفحات أخرى من الكوارتز.

ولما كان الشيست صخراً متحولاً من أنواع مختلفة من الصخور النارية والرسوبية معاً فيمكن أن نميز أنواع ثانوية متعددة منه ذات خصائص متنوعة. ويوضح البيان الآتى بعض أنواع من الشيست والصخور الأصلية التى تحول عنها :

أنواع صخور الشيست الصخور الأصلية التى تحول عنها



ويتألف الشيست أساساً من نسبة مرتفعة من الكوارتز والفلسبار ونسبة قليلة من معادن الأوجيت والهورنبلند والجارنت *Garnet* (العقيق)، والأبيدوت والماجنيتيت - وعندما ترتفع نسبة الكلوريت والأبيدوت فى الصخر فإنه يظهر باللون الأخضر ويعرف باسم الشيست الأخضر *Green schist*.

النيس *Gneiss* :

يتألف صخر النيس من حبيبات واضحة خشنة كبيرة الحجم نسبياً وتبعاً لدرجة تبلوره يتكون هذا الصخر فى المناطق العالية التأثر بعمليات التحول وخاصة فى مناطق التحول الإقليمى. ويتمثل فى النيس أشكال غير واضحة تماماً من التشقق ولكن أهم ما يميزه فى الطبيعة هو تخطيطه بأشرطة ملونة مميزة فى الصخر.

ويسمى صخر النيس باسم المعادن الأساسية التى تدخل فى تركيبه ومن ثم يمكن أن نميز النيس الميكائى *Mica - gneiss*، والنيس الهورنبلندى *Hornblende* والنيس الجرانيتى *Granite-gneiss*.

الرخام *Marble* :

يتحول هذا الصخر عن الكلسيت والدولوميت، ويزداد تكوينه خلال عمليات التحول الإحتكاكى والإقليمى. ومن مميزاته أنه عديم التشقق وبلوراته كبيرة الحجم. وتظهر اتجاهات بلورات الكلسيت فى خطوط متوازية تبعاً لتأثير الضغط الشديد الذى صاحب عمليات التحول.

وعلى الرغم من أن اللون الأساسى للرخام هو اللون الأبيض الثلجى الناصع *Snow-white* غير أنه فى معظم الأحيان تختلط فيه الشوائب المعدنية الأخرى وخاصة خلال عمليات التحول التى تعمل بدورها على تشكيل ألوان الصخر. ومن ثم هناك الرخام الأسود تبعاً لإرتفاع نسبة المواد الفحمية البيتومينية والرخام الأخضر نتيجة لكثرة الديبوسيد والهورنبلند، والسربنتين والطلق، والرخام الأحمر تبعاً لإرتفاع نسبة الليمونيت فى الصخر.

وقد يتمثل فى الرخام رواسب أحجار كريمة مثل العقيق *Garnet* والياقوت الأحمر *Rubies*، وإذا تحول الرخام عن صخور جيرية تكثر فيها الحفريات فإن الأخيرة تكسب الرخام ألواناً جميلة زاهية بعد عملية تحولها وتعرضها للحرارة والضغط. ويوجد الرخام أساساً فى المناطق التى تعرضت تكويناتها الصخرية لعمليات التحول الإقليمى وتقع تكويناته فيما بين الشيست الميكائى والفليت.

الفصل السادس
القوى الداخلية
التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض

تتأثر مواد قشرة الأرض بقوى مختلفة تعمل على تشكيلها بمجموعات متباينة من الظواهر التضاريسية. ومن ثم أكد الجيولوجيون بأن معظم الظواهر التضاريسية لسطح الأرض ما هى إلا نتاج كل من التركيب الصخرى والقوى أو العوامل التى شكلت الصخور خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل.

ويمكن تصنيف القوى الداخلية *Intrusive or endogentic Forces* التى تشكل مظهر سطح الأرض وظواهره الى مجموعتين هما القوى الداخلية الفجائية السريعة ، وهى عبارة عن القوى المختلفة التى تنشأ فى باطن الأرض وتؤثر فى تشكيل قشرتها الخارجية. وقد تظهر آثار هذه القوى على سطح الأرض بصورة فجائية سريعة، ومن أمثلتها الزلازل والبراكين، والقوى الداخلية البطيئة وهى عبارة عن القوى التى تشكل قشرة الأرض بصورة تدريجية وبطيئة جداً ـ قد تتخذ الملايين من السنين لكى تتم فعلها ـ ومن أمثلتها حركات الثنى والطى (الالتواءات المحدبة والالتواءات المقعرة) والصدوع (الانكسارات).

أولا : القوى الداخلية الفجائية السريعة

١ - الزلازل

عبارة عن هزات سريعة وقصيرة المدى تتعرض لها قشرة الأرض خلال فترات متقطعة نتيجة للاضطرابات الباطنية ويشتد حدوث مثل هذه الهزات الأرضية مع حركة التصدع الكبرى، وعند احتكاك الصخور بشدة على طول

أسطح الصدوع العميقة. وقد تهتز أجزاء قشرة الأرض بشدة بحيث يشعر بها الإنسان فى حين أن هناك آلاف من الهزات الضعيفة قصيرة المدى لا تسجلها سوى أجهزة الرصد السيزموجرافية الدقيقة. وتتميز بداية حدوث الهزات الزلزالية بضعفها ثم بمرور ثوان قليلة جداً تنبعث الهزات العنيفة وبمضى ثوان أخرى تتناقص قوة الهزات الى أن تتلاشى نهائياً، ويظل الإنسان على موعد آخر مع حدوث هزات زلزالية أخرى جديدة.

وقد ينجم عن حدوث الزلازل العنيفة تدمير المنشآت العمرانية وهلاك أعداد كبيرة من السكان. ومن بين تلك الزلازل المدمرة العنيفة زلزال شنسى (الصين) فى عام ١٥٦٦ والذى أدى الى مصرع نحو ٨٣٠ ألف نسمة وزلزال كلكتا فى عام ١٧٣٧ وراح ضحيته نحو ٣٠٠ ألف نسمة وزلزال أكوادور فى عام ١٧٩٦ وأدى الى مصرع نحو ٤١ ألف شخص وزلزال كانسو فى الصين عام ١٩٢٠ وأدى الى مصرع نحو ١٨٠ ألف شخص. ومن أحدث الزلازل المدمرة زلزال بيرو الذى حدث فى ٢ يونيو عام ١٩٧٠ لمدة ٤٠ ثانية فقط، مع ذلك ترك الزلزال وراءه منطقة مدمرة تماماً بلغت مساحتها نحو ١٢٨,٠٠٠ كم٢ ، وراح ضحيته أكثر من ٥٠ ألف قتيل و٢٠ ألف جريح، وتشرد بسببه أكثر من ٢٠,٠٠٠ شخص، وقد أزال الزلزال اثنتا عشرة مدينة وقرية كبيرة من بيرو، هذا الى جانب تدمير أكثر من ٩٠ ٪ من مدينة هواراز (٣٠ ألف نسمة) ونحو ٧٠٪ من مدينة تشيمبوتى (٨٠ ألف نسمة) وكانت تلك المدنية الأخيرة تعرف باسم سويسرة الصغيرة أو سويسرة بيرو.

وقد شهدت مدينة شيراز جنوب إيران فى يوم ١٠ أبريل عام ١٩٧٢ زلزالاً مروعاً، يعد من أعنف الزلازل التى تعرضت لها الأراضى الإيرانية. وقد قدر عدد ضحايا هذا الزلزال بأكثر من ٢٥ ألف شخص، ودمر الزلزال أكثر من ثلاثين قرية فى المنطقة المجاورة لمدينة شيراز. وبلغت درجة الزلزال ٩,٥ وقد أدى الى إهتزاز منطقة بلغت مساحتها نحو ٤٠٠ كم٢ ومن بين القرى التى اختفت معالمها تماماً بفعل هذا الزلزال، قرى كارزين، وجيهير، وهنجام،

ومبارك حاد.

أما زلزال مانجوا فى نيكارجوا فقد حدث فجأة فى يوم ٢٤ ديسمبر عام ١٩٧٢ وأدى الى مصرع أكثر من ٥٠ ألف نسمة، وإصابة أكثر من ٢٠٠ ألف نسمة بجروح بالغة من جملة سكان ماناجوا الذى يبلغ عددهم حوالى ٣٠٠ ألف نسمة. وقد نجم عن هذا الزلزال حدوث الحرائق الرهيبة وتشقق سطح الأرض.

وحاول الإنسان منذ القدم تفسير نشأة الزلازل وأسباب حدوثها ليهتدى الى تلك القوى الخفية التى تعمل على تدمير منشآته فوق سطح الأرض. وفى بداية العصور التاريخية اعتقد الإنسان بأن الأرض مثبتة فوق رأس حيوان ضخم، ولكن نتيجة لتحرك جسم هذا الحيوان ببطء تحدث الهزات الزلزالية فى الأرض. واختلفت التفسيرات حول نوع هذا الحيوان الضخم، فاعتبره اليابانيون عنكبوتاً ضخماً يحمل الأرض بين طيات نسيجه، وظنه الصينيون حوتاً ضخماً فى حين رمز إليه الهنود الحمر بسلحفاه هائلة الحجم، كما اعتقدت جماعات اللاماس *Lamas* فى منغوليا بأن الإله بعد أن خلق الأرض ثبتها فوق ظهر ضفدعة هائلة الحجم، وفى كل مرة عندما تحرك الضفدعة رأسها أو قدميها تتعرض الأرض لحدوث الهزات الزلزالية (شكل ٣٠). أما الفيلسوف الإغريقى أرسطو فى القرن الرابع قبل الميلاد اعتقد بأن نشأة الزلازل ترجع الى تسرب ألسنة ساخنة من الغازات والهواء من باطن الأرض. وربما ساهمت آراء أرسطو بعض الشيء فى ظهور نظرية تكوين الزلازل المصاحبة للبراكين والتى ظهرت فى منتصف القرن الثامن عشر.

نشأة الزلازل :

تنشأ نتيجة للاضطرابات التى يتعرض لها باطن الأرض، ومع ذلك يمكن أن نميز بعض العوامل الرئيسة التى تؤدى الى حدوث الزلازل، وقد تصنف الزلازل الى مجموعات مختلفة كذلك تبعاً للعوامل التى ساعدت على حدوثها، ومن بين هذه المجموعات :



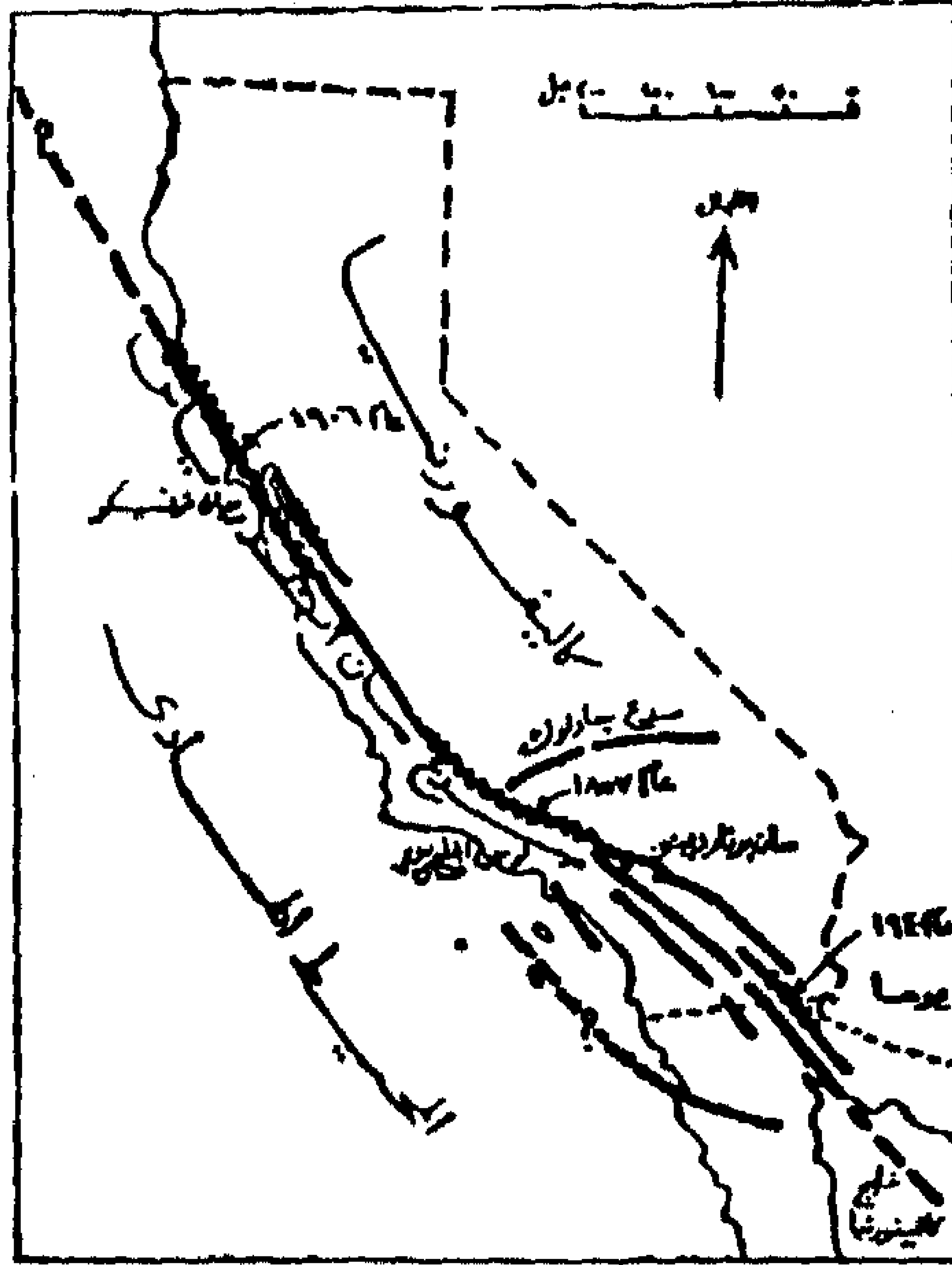
(شكل ٣٠) العالم فوق رأس ضفدعة الضخمة حسب اعتقاد جماعات اللاماس فى منغوليا

١ - الزلازل المصاحبة لحدوث التصدع :

أكدت الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة بأن أهم أسباب حدوث الزلازل يعزى الى تعرض صخور قشرة الأرض لحركات صدعية عنيفة (١).

ومن بين نماذج الزلازل التى تكونت على طول أسطح الصدوع العميقة زلزال سان أندريا الذى حدث فى عام ١٩٠٦ فى كاليفورنيا (شكل ٣١) وزلزال ألسكا فى عام ١٨٩٩، حيث تكون هذا الزلزال نتيجة لتحرك الطبقات رأسياً على طول صدع (انكسار) قديم. وقد ارتفعت الطبقات التى رميت الى أعلى نحو ٤٧ قدماً على طول سطح الصدع. وتعزى أسباب حدوث الغالبية العظمى من الزلازل فى اليابان الى شدة الحركات الصدعية التى تتأثر بها صخور اليابان. ومن أشهر الزلازل الصدعية فى اليابان ذلك الذى تعرضت له منطقة طوكيو ويوكوهاما فى سبتمبر عام ١٩٢٣.

(1) Don Leet, L. and Hudson S., "Physical Geology" Prentice Hall. (1965), p. 300.



(شكل ٣١) الصدوع العميقة فى منطقة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية
ويدل الخط الملتوى على مناطق حدوث الزلازل على طول أسطح الصدوع

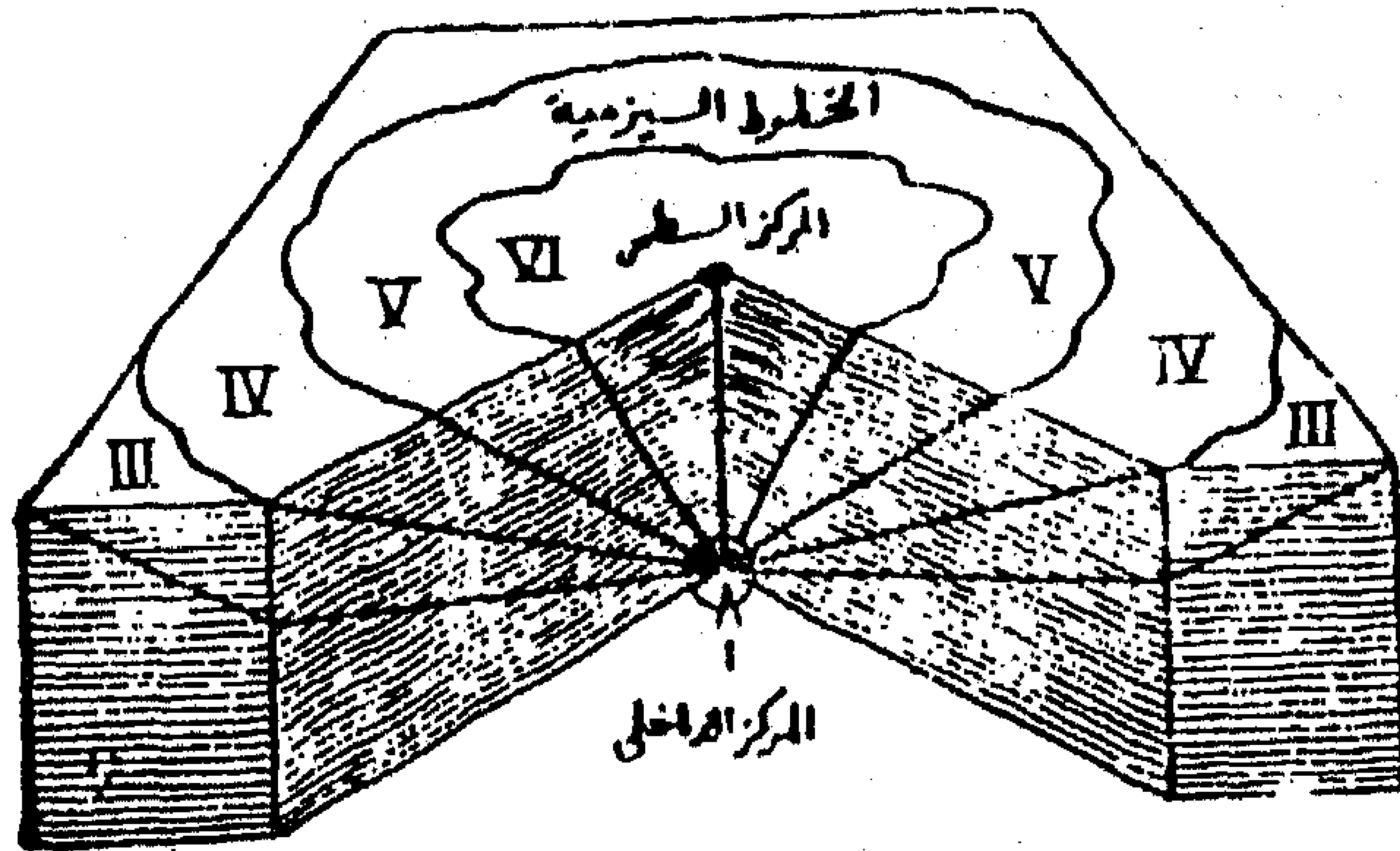
ب - الزلازل المصاحبة لحدوث البراكين :

تبين من الدراسات الجيولوجية والسيزمولوجية الحديثة بأن حدوث الزلازل بحلقة النار بالمحيط الهادى لا يرجع الى سبب الثورانات البركانية، بل الى خصائص التركيب الجيولوجى لتلك المناطق الحديثة التكوين والضعيفة جيولوجياً والتى لم تستقر طبقاتها الصخرية بعد، وتعرضها الدائم لفعل التصدع. وقد تتعرض جزر اليابان أحياناً الى ثلاثة زلازل فى يوم واحد دون أن تنبثق اللافا من أى بركان موجود بالجزر. وليس للزلازل التى تعرضت لها منطقة مسينا بجزيرة صقلية أى ارتباط بالنشاط البركانى المجاور والممثل فى بركانى أتنا واسترمبولى.

وقد اتضح من الدراسات الجيولوجية بأنه أثناء حدوث بعض الثورانات

البركانية الشديدة، قد تتكون بعض الزلازل الخفيفة المحلية فى تلك المناطق الضعيفة جيولوجياً. وتتميز المراكز الباطنية للزلازل التى تصاحب حدوث البراكين بأنها قريبة من سطح الأرض، وتقتصر موجاتها الزلزالية على منطقة الزلازل البركانية تلك التى صاحبت حدوث بركان كراكاتو *Krakatau* فى خليج سوندا *Sunda* (بين جزيرتى جاوه وسومطره) فى عام ١٨٨٣، وثورانات بركانى مونالوا *Manua Loa* وكيولويا فى جزر هاوى.

وللزلزال مركزين أحدهما فى باطن الأرض يقع عند الموقع الذى نشأ فيه والآخر يقع سطحى أى يقع عند سطح الأرض ويمثل النقطة العمودية الواقعة على المركز الداخلى للزلزال، وتنتشر منها موجات الزلزال فوق سطح الأرض (شكل ٣٢) ويشتد تأثير الزلزال على منشآت سطح الأرض عند مركزه السطحى *epicenter* ثم يقل قوة كلما بعدت أجزاء سطح الأرض عن المركز السطحى للزلزال. ويمكن ربط أجزاء سطح الأرض التى تتساوى من حيث تأثيرها بالزلزال بخطوط متساوية تعرف باسم خطوط الزلزال المتساوية *Isoseismal Lines* أو الخطوط السيزمية المتساوية. وعند رسم هذه الخطوط تبدو أهليلجية أو بيضاوية الشكل ويتمثل مركزها جميعاً فى المركز السطحى للزلزال. وعند تحديد موقع المركز السطحى للزلزال، وأقصى مدى انتشرت



(شكل ٣٢) المركز الداخلى والمركز السطحى للزلزال

عنده الموجات الزلزالية يمكن تقدير عمق الزلزال أو بمعنى آخر المركز الباطنى الذى نشأ عنده الزلزال.

وتبعاً لتأثير الزلازل فى تدمير مراكز العمران البشرى وتلك المزدحمة بالسكان صنف مارسيلى *Mercalli* قوة الزلازل الى عشر درجات مختلفة، ثم عدل الأستاذ هولمز *Holmes* (١) هذا التصنيف الى إثنتا عشر درجة تتلخص بالجدول الآتى :

درجة الزلازل	مدى اهتزازها		تأثيرها فى مناطق العمران
I	بالغة الضعف	Instrumental	لا يحس بها سوى أجهزة التسجيل
II	ضعيفة جداً	Very feeble	لا يشعر بها سوى سكان الطوابق العليا من المبانى
III	خفيفة	Slight	يشعر بها الناس أثناء أوقات راحتهم فى منازلهم
IV	معتدلة	Moderate	يشعر بها العاملون، وتهتز نوافذ وأبواب المنازل
V	محسوسة لدرجة نسبيا	Rather strong	توقظ النائمين
VI	قوية	Strong	تحدث تلفاً محدوداً فى المنازل
VII	قوية جداً	Very strong	تشقق جدران المنازل
VIII	مخربة	Destructive	تتساقط مداخن المنازل وتتهدم أجزاء المنازل القديمة
IX	مدمرة	Ruinous	تساقط بعض جدران المنازل وقد يلقى بعض الناس مصرعهم
X	شديدة التدمير	Disasrous	تساقط كثير من المنازل وتحطم السدود وانزلاق الأرض
XI	بالغة التدمير	Very disastrous	تدمير عام للمنطقة ولا يتبقى منها سوى القليل من المنشآت تحدث شقوق واسعة فى الأرض
XII	مفجعة وشاذة	Catastrophic	تدمير كل المنشآت العمرانية بالمنطقة وتطاير أجزاء منها فى الهواء، وتشقق سطح الأرض واختلاف مناسيب من جزء الى آخر

---

(1) Holmes, A., "Principles of physical geology", London (1959), p. 363.

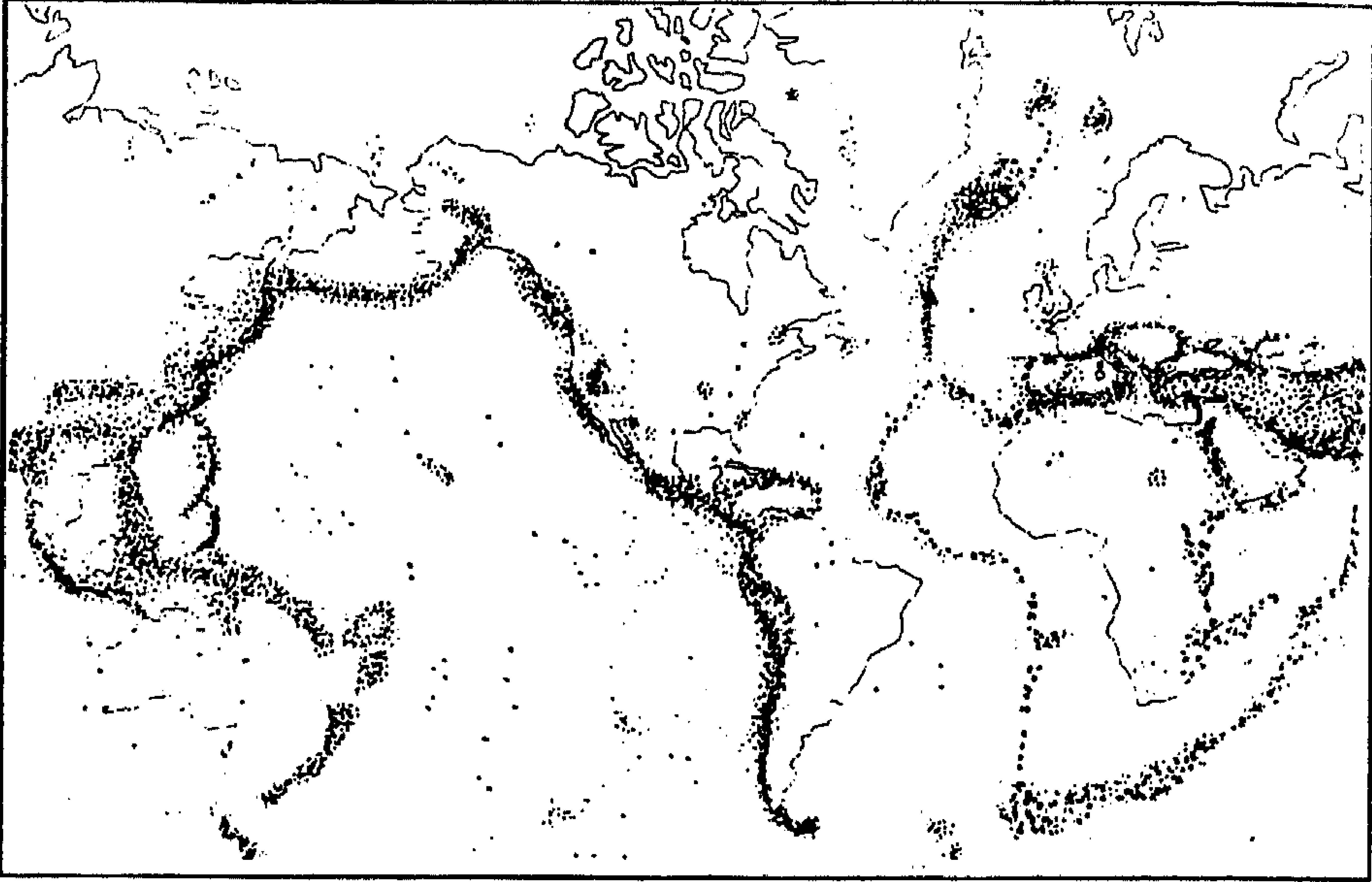
التوزيع الجغرافى للزلازل :

تحدث الزلازل فى مناطق متناثرة من أجزاء العالم، ولكن هناك مناطق محددة تحدث فيها الزلازل بنسبة أكبر من غيرها فى المناطق الأخرى. ومثل هذه المناطق المعرضة دائماً لحدوث الزلازل تعرف باسم أحزمة أو نطاقات الزلازل *Earthquake Belts*. ومن دراسة التوزيع الجغرافى للمراكز الباطنية للزلازل فى العصر الحديث يمكن أن نلخص الملاحظات الآتية :

أ - أشد نطاقات الزلازل حدوثاً هو ذلك النطاق الحلقى حول المحيط الهادى *Circum Pacific Belts* والمعروف بحلقة النار *Ring of Fire* ويتمثل فيه نحو ٧٨٪ من مجموع الزلازل. وعلى الرغم من أن هذا النطاق هو أهم مناطق حدوث البراكين فى العالم، غير أنه من الخطأ إعتبار حدوث الزلازل نتيجة تلقائية لحدوث البراكين، بل أن كلاً من البراكين والزلازل تحدث فى هذا النطاق لكونه ضعيفاً جيولوجياً، فهو عبارة عن مناطق إلتقاء صخور السيال بصخور السيما من ناحية وأنه من أهم مناطق الالتواءات الألبية الميوسينية الحديثة من ناحية أخرى. ومن ثم فإن صخور هذا النطاق غير مستقرة، ومعرضة دائماً لتأثير الحركات التكتونية.

ب - يضم نطاق البحر المتوسط نحو ٢١٪ من مجموع الزلازل. ويرتبط حدوث الزلازل فى هذا النطاق مع المناطق الالتوائية الألبية فى أوروبا غير المستقرة جيولوجياً، وقد أوضحت نتائج دراسات الزلازل بأن أخطر الزلازل وأشدها عنفاً وتدميراً هى تلك التى تحدث فى كل من الفلبين وإيطاليا والصين وتركيا واليابان والمكسيك وبشبه جزيرة البلقان على الترتيب.

هذا وتحدث الزلازل فى أرضية المحيطات وخاصة عند الحواجز المحيطية الكبرى، كما قد تحدث الزلازل فى مناطق شبه مستقرة من الكتل الأركية الصلبة مثل زلزال نيوفوند لاند فى عام ١٩٣٩ وفى الأخاديد الصدعية العنيفة كما هو الحال فى الأخدود الأفريقى العظيم (شكل ٣٣).



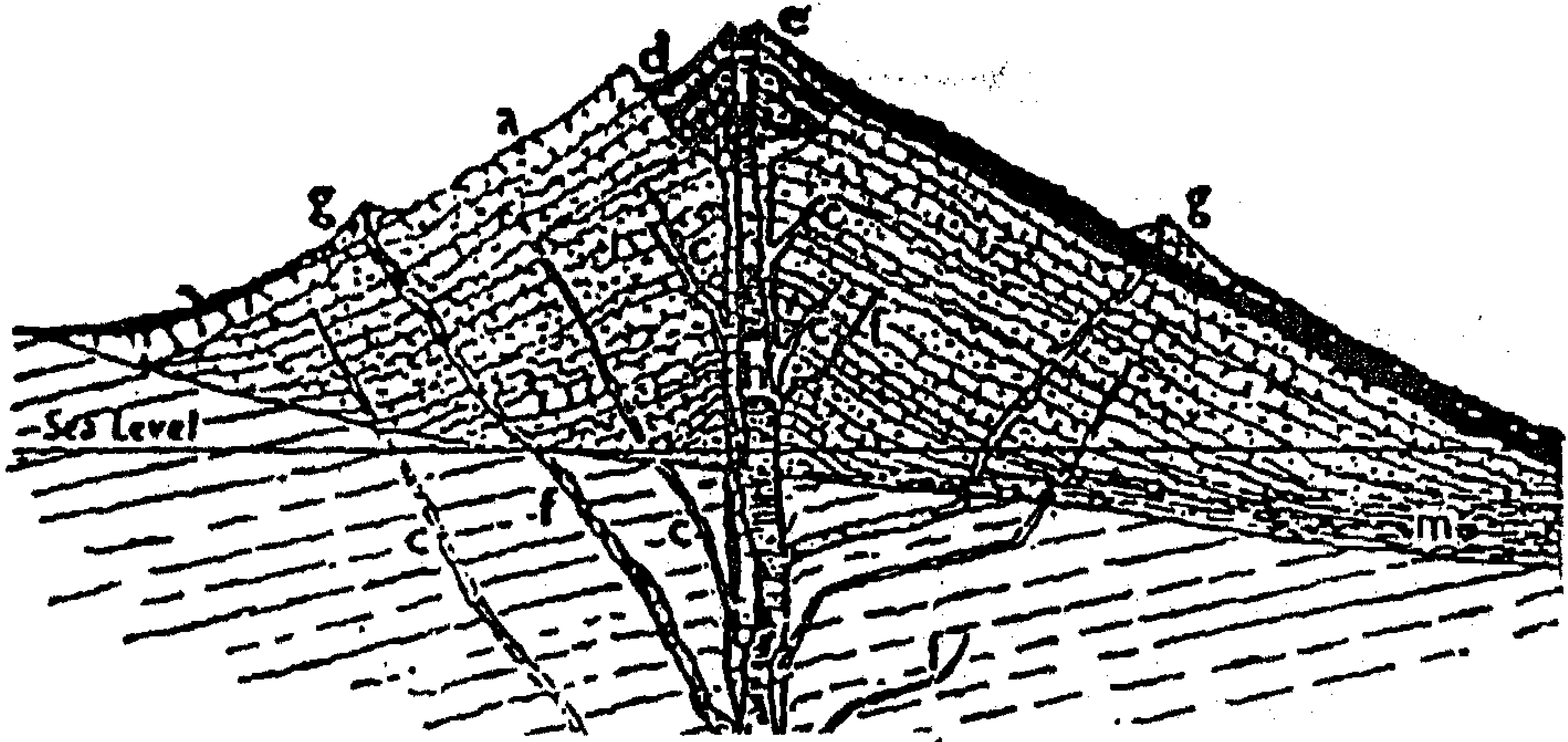
(شكل ٣٣) التوزيع الجغرافى للزلازل فى العالم

٢ - البراكـــين

عندما تنبثق الماجما من باطن الأرض قد تظهر على سطح الأرض على شكل مخروطات هرمية الشكل من المصهورات البركانية تعرف باسم البراكين *Volcanoes* . وقد تظهر على شكل انسيابات وفرشات لافية وتكون الهضاب البركانية *Volcanic Plateaux* . ويعزى أسباب تكوين المخروطات البركانية الهرمية الشكل الى خصائص التركيب الكيميائى للماجما والمصهورات البركانية عبر فتحة كبرى رئيسية تعرف باسم قصبة البركان *Volcanic Neck* وتصل قصبة البركان بين مصدر الماجما فى باطن الأرض وأعالى المخروط البركانى على سطح الأرض، وتتخذ المصهورات البركانية طريقها الى الأرض عبر القصبة الرئيسية للبركان. وعندما تصل المصهورات البركانية الى سطح الأرض تتجمع وتساهم فى بناء المخروط البركانى

Volcanic Neck . ويختلف شكل المخروط البركانى تبعاً لخصائص التركيب الكيميائى لمواد اللافا، فى حين يختلفه حجمه تبعاً لكمية المواد المنبثقة من البركان. ويطلق على الأطراف العليا للقصبة البركانية وفتحتها التى تخرج منها المصهورات البركانية اسم الفوهة البركانية *Volcanic Crater* . ويختلف حجم وإتساع الفوهة البركانية من فوهات صغيرة لا يزيد نصف قطر كل منها عن عدة أمتار، فى حين أن هناك فوهات بركانية هائلة الحجم يزيد نصف قطرها عن عشرات الأمتار ولها جدران حائطية عالية، وفى هذه الحالة تعرض باسم الكالديرا *Caldera* . وليس من الضرورى أن يكون للبركان فوهة واحدة، بل قد يتمثل على جوانب المخروط البركانى عدة فوهات ثانوية تستمد اللافا من شقوق وفتحات ثانوية تتصل بالقصبة الرئيسية للبركان (شكل ٣٤) .

وحيث تعمل المصهورات البركانية على بناء المخروط البركانى نفسه فإنه كلما كانت هذه المصهورات هائلة الحجم ودائمة التدفق، يرتفع المخروط ويزداد حجمه، أما إذا انخمدت المصهورات البركانية وتعرض البركان لفترة



(شكل ٣٤) قطاع لأجزاء مخروط بركانى مركب ولاحظ ما يلى

a – المخروط الرئيسى للبركان.
b – انسيابات اللافا داخل القصبة الرئيسية.
c – العروق النارية.
d – فوهة جديدة داخل الفوهة القديمة.
e – مخروط الفوهة البركانية الجديدة.
f – عروق نارية أحدث عمراً.
g – مخروطات جنينية صغيرة تستمد اللافا من عيون جانبية.
m – رواسب بحرية قديمة.

من الهدوء النسبى، فيتعرض بدوره لفعل عوامل التعرية التى تعمل على تشكيل المخروط البركانى ونحت الأجزاء الضعيفة منه.

وحيث تعمل المصهورات البركانية على بناء المخروط البركانى نفسه فإنه كلما كانت هذه المصهورات هائلة الحجم ودائمة التدفق، يرتفع المخروط ويزداد حجمه، أما إذا انخمدت المصهورات البركانية وتعرض البركان لفترة من الهدوء النسبى، فيتعرض بدوره لفعل عوامل التعرية التى تعمل على تشكيل المخروط البركانى ونحت الأجزاء الضعيفة منه.

والبراكين النشيطة الدائمة الثوران *Active* قليلة جداً على سطح الأرض ومن بينها بركان سترمبولى *Strmboli* بجزر ليبارى قرب جزيرة صقلية والمعروف بمنارة حوض البحر المتوسط. وتنبثق المصهورات البركانية وألسنة اللهب من فوهة البركان مرة كل دقيقتين.

وأغلب البراكين فوق سطح الأرض هى من النوع المتقطع الثوران أو هادئة نسبياً *Dormant* حيث ينخمد النشاط البركانى خلال فترة من الزمن، ثم يتجدد من جديد خلال فترة أخرى. ومن بينها بركان أتنا بجزيرة صقلية. وهناك مجموعة ثالثة من البراكين تعتبر خامدة *Extinct*، أى انخمد النشاط البركانى فيها تماماً منذ فترة زمنية طويلة وأصبحت تتشكل بعوامل التعرية التى أخذت على عاتقها نحت جوانب المخروط البركانى والذى لا يتبقى منه فى النهاية سوى القصبة البركانية الشديدة الصلابة. ومن بين أمثلة الهياكل البركانية شيبروك *Shiprock* فى المكسيك وديفلز تور *Devil's Tower* فى ولاية وايومنج بالولايات المتحدة الأمريكية.

إلا أن تصنيف البراكين الى مجموعات نشيطة وهادئة وخامدة لا يعد تقسيماً عملياً دقيقاً، ذلك لأن بعضاً من البراكين الهادئة أو الخامدة قد تتعرض لثورانات بركانية جديدة تجدد من دوراتها ونشاطها، وتنبثق منها بذلك مصهورات بركانية هائلة، وتدخل من جديد ضمن مجموعة البراكين النشيطة.

المواد التى تنبثق من البراكين

تنبثق من البراكين مواد مختلفة، بعضها يتألف من أجسام صلبة وأخرى من مواد سائلة وبعضها الآخر غازات، وتتلخص نوعية تلك المواد وخواصها العامة فيما يلى :

١ - المواد الصلبة : وتتألف من الآتى :

المقذوفات البركانية الحطامية *Pyroclasts* :

عندما تنبثق المصهورات اللافية عبر قصبة البركان تعمل على تحطيم صخور قشرة الأرض فى منطقة فوهة البركان وتتطاير بذلك المفتتات الصخرية المحطمة - بعد تشكيلها بالمواد اللافية - الى أعلى وتتساقط على مسافات مختلفة من منطقة الفوهة تبعاً لإختلاف حجمها وقوة الدفع التى تعرضت لها، ويطلق على هذه المواد الصخرية المفتتة والتى انغسلت بمواد اللافا اسم المقذوفات الحطامية البركانية *Pyroclasts* ، ومن بينها القنابل البركانية *Bombs* وكتل السكوريا *Scorea* (أى كتل اللافا المخرمة ذات الفقاقيع الغازية) وصخر الخفاف *Pumice* ، ومجمعات صخرية حطامية من الصخور الأصلية للمنطقة قبل ظهور فوهة البركان والرماد البركانى.

٢ - المواد المنصهرة السائلة : اللافا (١) *Lavas* :

وتتمثل فى اللافا *Lavas* أو الحمم أو الطفوح البركانية وهى عبارة عن المصهورات البركانية التى تنبثق من فوهات البراكين أو الشقوق فى سطح الأرض وتنساب فوق هذا السطح مكونة المخروطات والهضاب البركانية. أما

---

(١) يطلق بعض الكتاب على هذا التعبير اسم «اللابا» ولكن حيث استخدم تعبير «اللافا» فى الدراسات الجغرافية والجيولوجية وأصبح استخدامه شائعاً لذا سيظل استخدامه فى دراستنا هذه.

إذا انحبست هذه المصهورات البركانية داخل قشرة الأرض ولم تتعرض للبرودة السريعة فوق السطح فتعرف فى هذه الحالة باسم الماجما *Magma* [(١)].

وتتراوح درجة حرارة اللافا من ٦٠٠° م الى ١٢٠٠° م ويمكن القول بأن اللافا البازلتية القاعدية دائماً أعلى حرارة من الأنواع الأخرى من اللافا عند سطح الأرض. وتتميز اللافا القاعدية *Basic Lava* كذلك بأنها عالية المرونة وتكثر فيها الغازات ومن ثم تصبح أكثر سيولة وتنساب من أعالى المخروط البركانى وتنحدر على جوانبه وتحت أقدامه لمسافات طويلة قبل أن تتعرض لعمليات البرودة والتجمد. أما اللافا الحمضية *Acid Lava* أى الغنية بالسليكات فتتميز بأنها شديدة اللزوجة وثقيلة الوزن وعالية التماسك ومن ثم تكون هذه اللافا قليلة السيولة وبطيئة الانسياب وتتراكم حول الفوهات والشقوق البركانية التى تنبثق منها ولا تبتعد ألسنتها وفرشاتها كثيراً عن هذه الفوهات.

٣ - الغازات البركانية :

ينبثق مع المصهورات البركانية الصلبة والسائلة كميات كبيرة من بخار الماء والغازات تقدر بنحو ٥٪ من جملة حجم المصهورات البركانية. كما تتروواح نسبة بخار الماء من ٦٠ الى ٩٠٪ من جملة الغازات التى تنبثق من الفوهات البركانية. وتمثل النسبة الباقية الأخرى مجموعة من الغازات أهمها ثانى أكسيد الكربون والنتروجين وغازات أحماض الأيدروكلوريك والكبريتيك والنشادر. وتتراوح درجة حرارة تلك الغازات أثناء انبثاقها من فوهات البراكين من ١٠٠° الى ٥٠٠° م. ولا يقتصر خروج الغازات من فوهات البراكين أثناء حدوث الثورنات البركانية فقط، بل قد ينبعث من البراكين

---

(١) استخدم الكتاب العرب فى التراث الجغرافى الإسلامى تعبير «الحرة» وجمعها حرار أو حرات مرادفاً لتعبير اللابة (وجمعها اللابات) وتدل الحرة أو اللابة على الحقول الفسيحة من سطح الأرض المغطاة بالصخور البازلتية السوداء اللون الناشئة عن تصلب الصهير المنبثق من فوهات البراكين. راجع عبد الله يوسف الغنيم (١٩٨٨) ص٢٢.

السائلة كميات هائلة من الأبخرة والغازات دون أن يصاحبها انبثاق للمصهورات اللافية.

أشكال المخروطات البركانية *Types of Volcanic Cones* :

تتمثل أشكال المخروطات البركانية فى خمس مجموعات رئيسية تبعاً لإختلاف حجمها وأشكالها وتتلخص هذه المجموعات فيما يلى :

١ - المخروطات الجنينية الصغيرة *Embryonic Cones* :

وهى عبارة عن مخروطات بركانية محدودة الارتفاع مؤلفة من المصهورات اللافية وتحيط جوانبها مقذوفات المفتتات الحطامية البركانية *Pyroclasts*. وتتمثل هذه المخروطات فى المناطق الحديثة التعرض للبراكين، وإن دلت على شيء فإنما تدل على بداية ميلاد مراحل تكوين المناطق البركانية. ومثل هذه المخروطات الصغيرة تستمد اللافا من عيون متفجرة صغيرة *Explosion Vents*، وتبعاً لكثرة العيون البركانية فى مناطق تكوينها تتألف من عدة مخروطات بركانية صغيرة متجاورة.

٢ - مخروطات الغبار والرماد البركانى *Ash or Cinder Cones* :

تتكون مثل هذه المخروطات عندما ترتفع نسبة المقذوفات الصخرية الحطامية *Pyroclastic Materials* مع المواد اللافية. وتتوقف سرعة نمو مخروطات الرماد البركانى تبعاً لسرعة تكوين الحلقات اللافية والمواد الصخرية الحطامية حول فوهة البركان (١). ومن ثم تتميز أعالى المخروط البركانى، ببنائه من مخروطات صغيرة من الرماد والمقذوفات الحطامية البركانية.

---

(1) Longwell, C. R., Knopf. A., and Flint, R. F., "Out-lines of physical geology", N. Y., (1947) p. 210.

٣ - القباب اللافية *Lava Domes* :

لا تبدو البراكين فى هذه الحالة مخروطية أو هرمية الشكل، بل يغلب عليها المظهر القبابى، ويعزى ذلك الى خصائص التركيب الكيميائى لمواد اللافا. فعندما تتألف اللافا الحمضية من نسبة مرتفعة من السيليكات وخاصة ثانى أكسيد السليكون تؤدى الى تكوين صخور الريوليت *Rhyolite* والدسيت *Dacite* والتراكيت *Trachite* والزجاج الطبيعى *Obsidians*. وتتميز هذه اللافا إبان إنصهارها بشدة لزوجتها *Highly Vesous* وشدة تماسك جزيئاتها، ومن ثم تضعف درجة انسيابها وتحركها ولا تبتعد كثيراً عن العيون والفوهات البركانية التى ابنثقت منها، وعلى ذلك تتكون مخروطات لافية قبابية الشكل عامة بالقرب من العيون الجانبية والرئيسية للبركان.

٤ - المخروطات الهضبية أو الدرعية *Shield Cones* :

تتألف المخروطات الهضبية أو الدرعية الشكل من اللافا البازلتية القاعدية العالية المرونة والسيولة. وعلى ذلك فعندما يثور البركان وتنبثق منه اللافا، تنساب على جوانب المخروط البركانى بسرعة، وتنحدر لمسافات بعيدة تحت أقدام البركان قبل أن تتجمد. ونتيجة لإستمرار ثورانات البركان تتكون فرشات لافية هائلة الحجم تحت أقدام البركان متراكبة فوق بعضها البعض ويؤدى ذلك الى زيادة انتشار المصهورات اللافية حتى يصبح المخروط على شكل هضبة واسعة الامتداد من جهة، وتقل درجة انحدار جوانبه من جهة أخرى. ففى منطقة فوهة المخروطات الهضبية يتراوح الانحدار من ٨° الى ١٠° فى حين يتراوح من ٢° الى ٥° عند قاعدة المخروط البركانى (١).

٥ - المخروطات المركبة *Composite Cones* :

أهم ما يميز هذه المجموعة من البراكين تنوع المواد المنبثقة فيها من

(1) Longwell, C. R., Knopf. A., and Flint, R. F., "Out-lines of physical geology", N. Y., (1974) p. 219.

ثوران بركانى الى آخر، ومن ثم تشكيل المخروط البركانى بعدة خصائص تجمع أكثر من نوعين من أشكال المخروطات البركانية التى سبق ذكرها (١). فقد يتكون المخروط البركانى فى بداية نشأته من مواد حطامية صخرية مختلطة مع اللافا ويظهر على شكل قباب حطامية وبازلتية، وعندما يجدد البركان نشاطه مرة أخرى قد تنبثق منه كميات هائلة من اللافا اللزجة القديمة وتفتيت أجزاء المخروط الأصلى وبناء المخروطات الهضبية أو الدرعية. ثم قد تتشكل المخروطات الأخيرة بثورانات من اللافا اللزجة من جديد تنبثق من الفوهة الرئيسية ومن عيون وفتحات على جوانب المخروط البركانى. وهكذا يتشكل المخروط البركانى بظواهر متعددة على جوانبه، وقد يتمثل فى فوهته أكثر من مخروط بركانى ذات أحجام صغيرة ويطلق على الفوهة البركانية فى هذه الحالة «بركان داخل بركان» *Nest Crater or Cone in Cone*.

٦ - الهضاب والسهول البركانية ***Volcanic Plateaus and plains*** :

قد تظهر أحياناً فى بعض الأجزاء من سطح الأرض فوهات بركانية صغيرة إلا أنها متعددة وتندفع منها اللافا بكميات كبيرة، وتؤدى الأخيرة بدورها الى بناء مناطق هضبية واسعة الامتداد. ويتميز سطح بعض هذه الهضاب كما هو الحال فى الهضاب البركانية فى حوض نهر سنيك *Snake River* ونهر كولومبيا *Columbia* فى أمريكا الشمالية باستوائه التام، بحيث يمكن أن يطلق عليها كذلك اسم السهولة اللافية *Lava plains*. ومن بين أظهر أمثلة الهضاب البركانية فى العالم تلك التى تشغل أجزاء واسعة من حوض نهر كولومبيا فى شرق ولاية واشنجتون *Washington* والهضاب البركانية فى كل من ولايات أروجون *Oregon* ونيفادا *Nevada* وأيداهو وهضبة يلوستون *Yellowstone* فى ولاية وايومنج بأمريكا الشمالية.

---

(١) يشير الأستاذ لونجيل C. R. Longwell إلى هذه المجموعة باسم البراكين التراكمية Strato Volcanes مثل بركان مايون التراكمى.

٧ - الهياكل البركانية *Volcanic Skeletons* :

عندما تنخمد الثورانات البركانية، يظهر بوضوح آثار فعل عوامل التعرية المختلفة فى تشكيل المظهر العام للبركان. ومن هنا تبدأ مرحلة هدم المخروط البركانى. وإذا استمرت عوامل التعرية فى نحت مخروط البركان مدة طويلة من الزمن، فقد ينجم عن هذه العملية تساقط جدران فوهة البركان إما فى باطن الفوهة نفسها أى فى غرف الصهير القديمة *Magma Chambers* أو تنزلق على السفوح الجانبية للمخروط تبعاً لأثر الانحدار وفعل الجاذبية الأرضية. ويعمل على تفتيت صخور البركان كل من فعل التجوية الميكانيكية وعوامل التعرية المختلفة، التى تنقل بدورها المفتتات الصخرية الى مناطق بعيدة عن موقع البركان نفسه. وتبعاً لتوالى عمليات التآكل والنحت فى المخروط البركانى فقد يزال أجزاء كبيرة من غطاءاته اللافية بالتدريج، ولا يتبقى منه فى النهاية سوى أعمدة رأسية بركانية تمثل قصبة البركان وتقف منعزلة فوق سطح الأراضى المجاورة ويطلق عليها اسم «الهياكل البركانية» ومن أجمل أمثلتها بركان شيبروك *Shiprock* فى المكسيك، وهيكل سانت ميشيل *St. Michl* فى منطقة «بييه» فى فرنسا، وهيكل ديفل تور *The Devil's Tower* فى لاية وايومنج وكذلك بعض البراكين القديمة العمر فى ولايات أريزونا ويوتاه ومرتفعات كريزى *Crazy Mts* فى مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية.

التوزيع الجغرافى للبراكين :

يتمثل أظهر نطاق للبراكين فى ذلك النطاق الذى يحيط بمعظم سواحل المحيط الهادى والمعروف باسم حلقة النار *Ring of Fire* ويقدر عدد البراكين الثائرة فى هذا النطاق بنحو ٣٠٠ بركاناً أى نحو ٦٠٪ من جملة عدد البراكين الثائرة أو النشيطة فى العالم (شكل ٣٥).

وتظهر براكين هذا النطاق الكبير فى أجزاء متفرقة من مرتفعات الأنديز بأمريكا الجنوبية ومرتفعات أمريكا الوسطى والمكسيك (سيراماديرا الغربية)، ومرتفعات الكاسكيد فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية، ومرتفعات

(شكل ٣٥) التوزيع الجغرافى لأهم البراكين والهضاب البركانية فى العالم

كولومبيا البريطانية وقوس جزر ألوشيان شمالاً. أما على طول السواحل الشرقية لآسيا فتظهر براكين هذا النطاق كذلك فى أقواس الجزر المحيطية فى شرق وجنوب شرق آسيا، خاصة فى مجموعات جزر الفلبين، وسيليبيس ونيوغينيا وسولمون ونيوكاليدونيا وجزر نيوزيلند.

ثانياً: القوى الداخلية التدريجية البطيئة

١ - الالتواءات (حركات الثنىّ أو الطىّ أو التمعج) :

تتعرض صخور قشرة الأرض لحركات رفع تكتونية بطيئة تتم فى صورة تدريجية خلال فترات طويلة من التاريخ الجيولوجى. ويعزى أسباب هذه الحركات الى الاضطرابات والتغيرات الحرارية الجوفية التى تحدث فى باطن الأرض. وعلى الرغم من أن حركات الرفع التكتونية تؤثر فى جميع أنواع

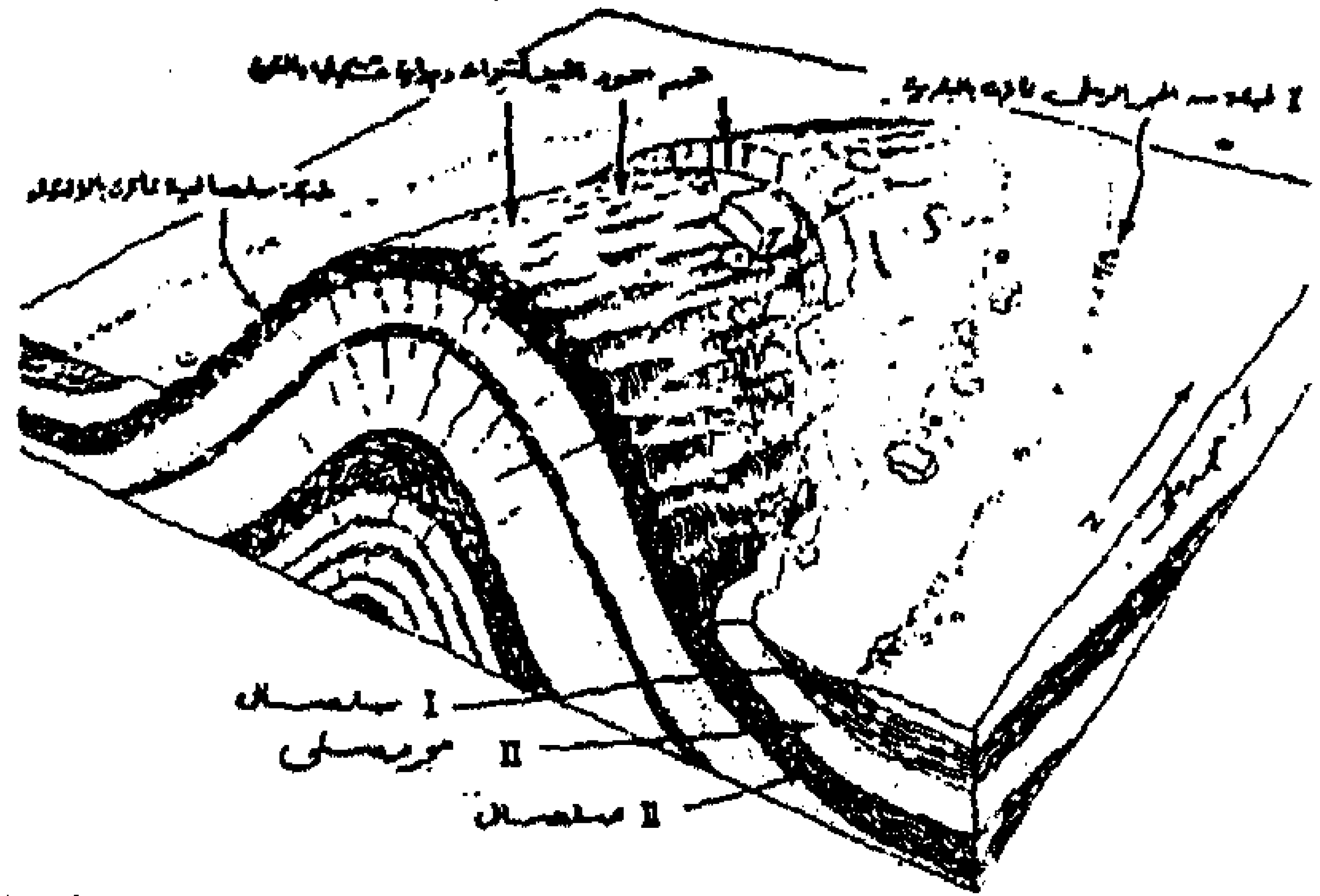
الصخور وتؤدى الى تمعجها إلا أن الكتل النارية الصخرية عند تأثرها بمثل هذه الحركات تندفع الى أعلى وتظهر فوق سطح الأرض على شكل قباب وكتل جبلية نارية.

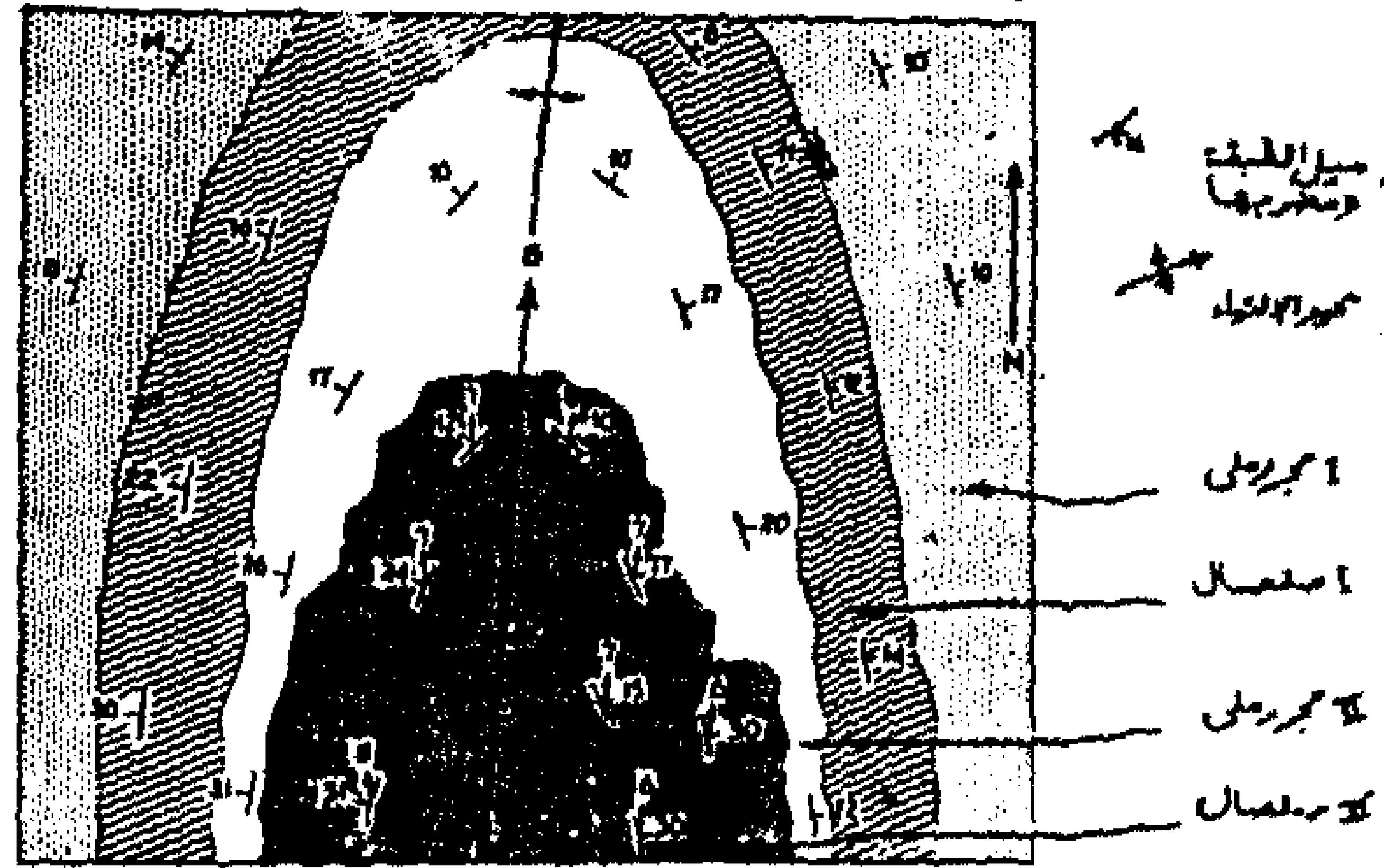
أما الطبقات الصخرية الرسوبية الحديثة العمر الجيولوجى والهائلة السمك (والتى كانت متجمعة فى قاع البحار الجيولوجية القديمة) فهذه تعتبر أنسب أنواع الصخور لإظهار تأثير التمعج أو حركات الثنى أو الطى فى تشكيل صخور قشرة الأرض،وبفعل هذه الحركات التكتونية تنثنى الطبقات الصخرية وتتشكل بأنماط مختلفة تبعاً لخصائص الحركات التكتونية نفسها، ومدى اختلاف التركيب الصخرى.

وإذا كانت حركات الرفع التكتونية قد استمر حدوثها ببطء وبصورة تدريجية وبمعدل بسيط فينتج عن ذلك تكوين ثنيات محدبة هائلة الاتساع وتشغل مساحات واسعة جداً. ويتميز الميل على جوانب هذه الثنيات بكونه بسيطاً وغير محسوس. وأمثلة ذلك الثنيات الصخرية المحدبة فى إقليم سينسيناتى وثنيات سان رفائيل *San Rafael* المحدبة فى ولاية يوتاه، وثنيات زونى *Zuni* المحدبة فى شمال غرب المكسيك.

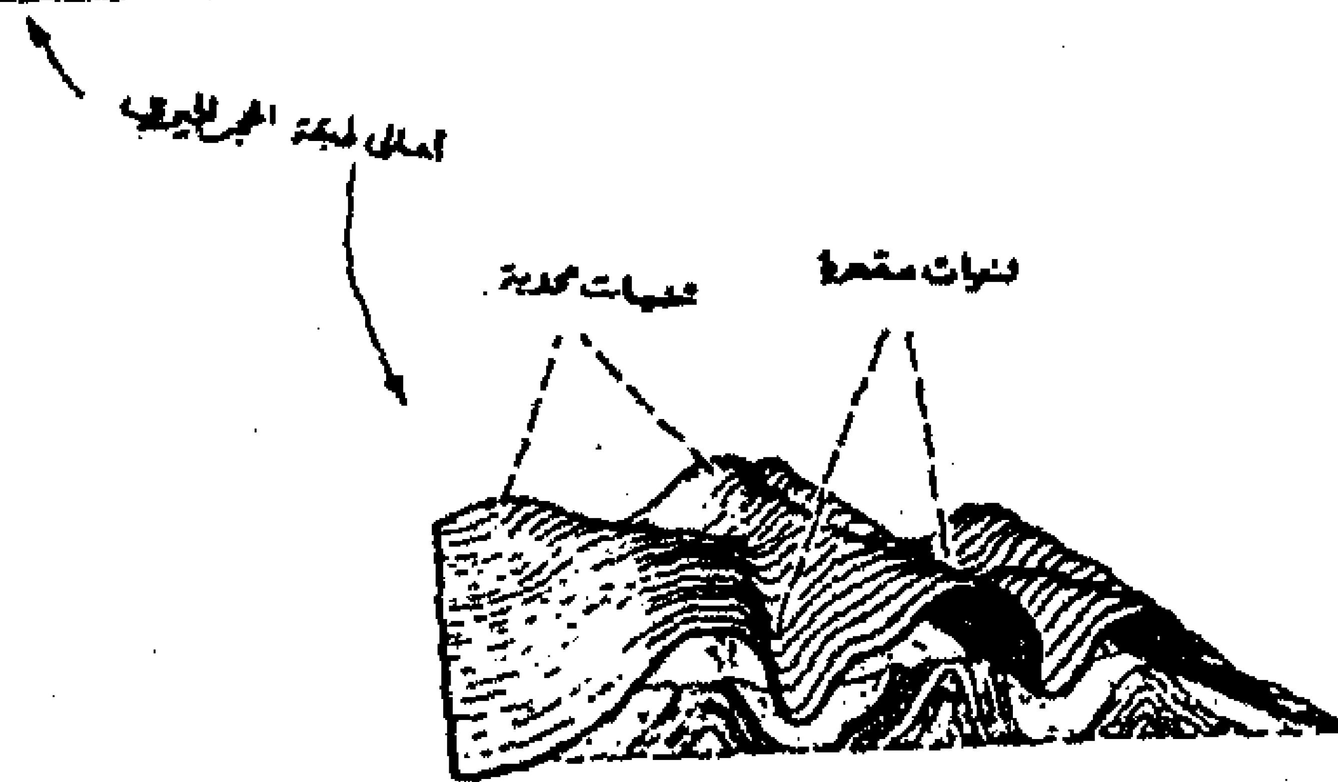
أما إذا كانت الحركات التكتونية شديدة بحيث يمكنها رفع الطبقات الصخرية الى أعلى بمقدار كبير، فقد ينجم عن ذلك تكوين ثنيات صخرية مندفعة محدبة هائلة الارتفاع فوق أسطح الأرض، ومع ذلك تكون منطقة الثنية محدودة المساحة والامتداد تبعاً لشدة ميل الطبقات على جوانب الثنيات المحدبة وقصر هذه الجوانب، كما هو الحال بالنسبة لثنيات مرتفعات الباروك المحدبة فى لبنان وجبل حفيت فى دولة الإمارات العربية المتحدة (شكل ٣٦).

وعند رفع الطبقات الصخرية من أسفل الى أعلى وتكوين الثنيات المحدبة بأشكالها المختلفة تتكون فى الطبقات الصخرية مناطق ضعف جيولوجية جديدة *Geological Weakness*. عند أعالى الثنيات المحدبة وعند قممها *Crests* ومن ثم تتآكل صخورها اللينة وتنجح التعرية المائية فى شق الطبقات الصخرية وإزالة الكثير من تكويناتها، ومن ثم قد تظهر منطقة أعالى الثنيات









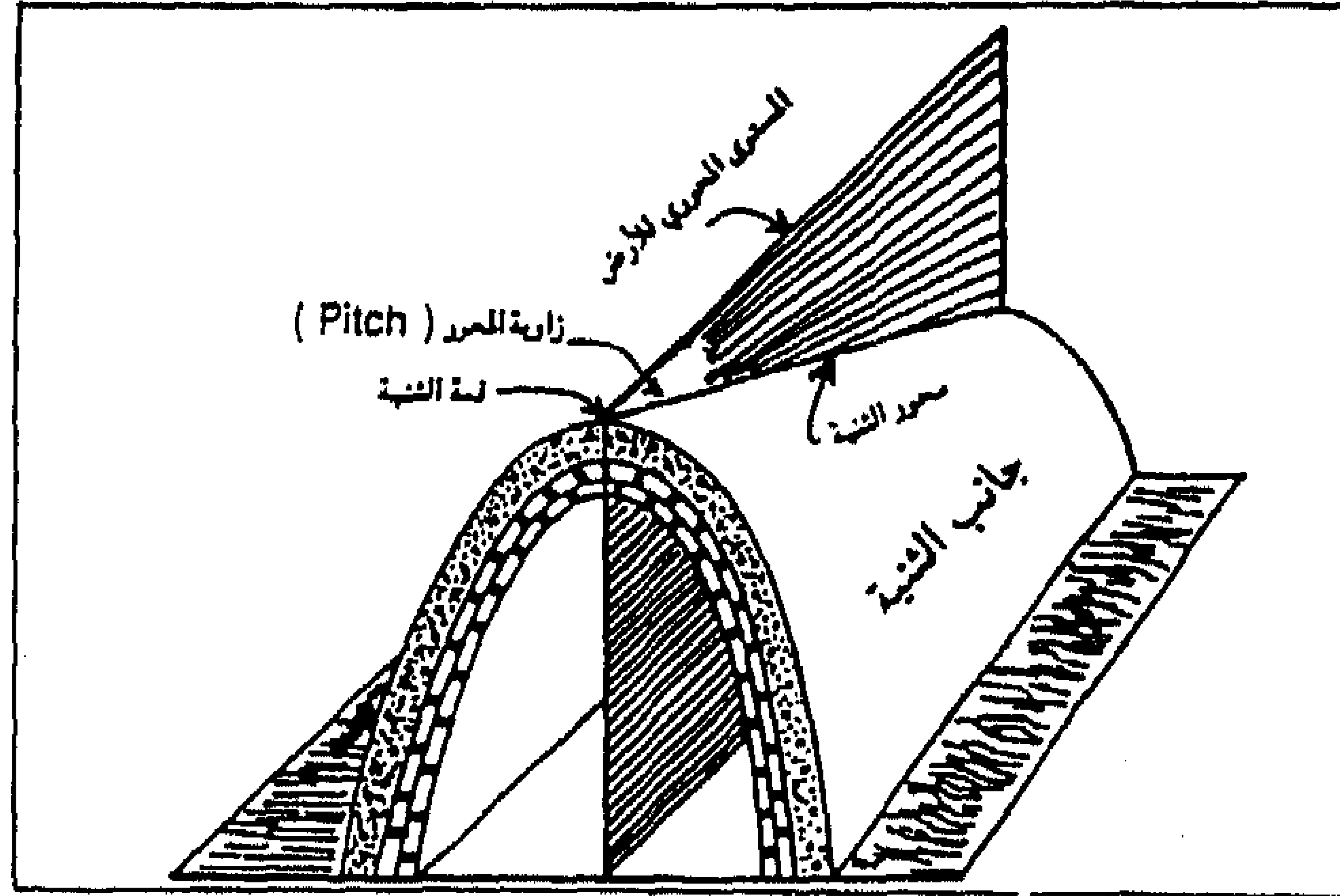
(شكل ٣٦) تعرية أعالى الثنيات المحدبة ويلاحظ أن الصخور القديمة تظهر فى أواسط الثنية المحدبة بعد تعرية الصخور الأحدث عمراً والتى تشاهد بقاياها على جانب الثنية - ولاحظ توزيع طبقات الصخور والمثلثية على الخريطة الجيولوجية واتجاه ميل الطبقات

المحدبة فوق سطح الأرض إما على شكل سهول فيضية نهرية أو أودية لأنهار نشيطة.

عناصر الإلتواء - الثنية المحدبة :

على الرغم من تعدد أشكال الثنيات المحدبة إلا أن كلاً منها يتألف من عدة عناصر أو أجزاء ثابتة. فعندما تنثنى الطبقات الصخرية على شكل ثنية محدبة، يصبح لها جانبين تميل فيها الصخور فى اتجاهين متضادين، ويطلق على كل جانب منهما اسم جانب الثنية أو جناح الطية *Limb* . وتعرف أعلى نقطة فى الثنية المحدبة والتى تعتبر منطقة فاصلة بين جانبى الثنية باسم قمة الثنية *Crest* (شكل ٣٧) أما الخط الذى ينصف الثنية فيعرف باسم محور الالتواء *Axial plane or Anticlinal axis* وليس من الضرورى أن يكون المحور عمودياً بل كثيراً ما يكون مائلاً أو شبه أفقى.

وتتنوع أشكال الثنيات المحدبة وفقاً لدرجة ميل المحور. فإذا كان المحور



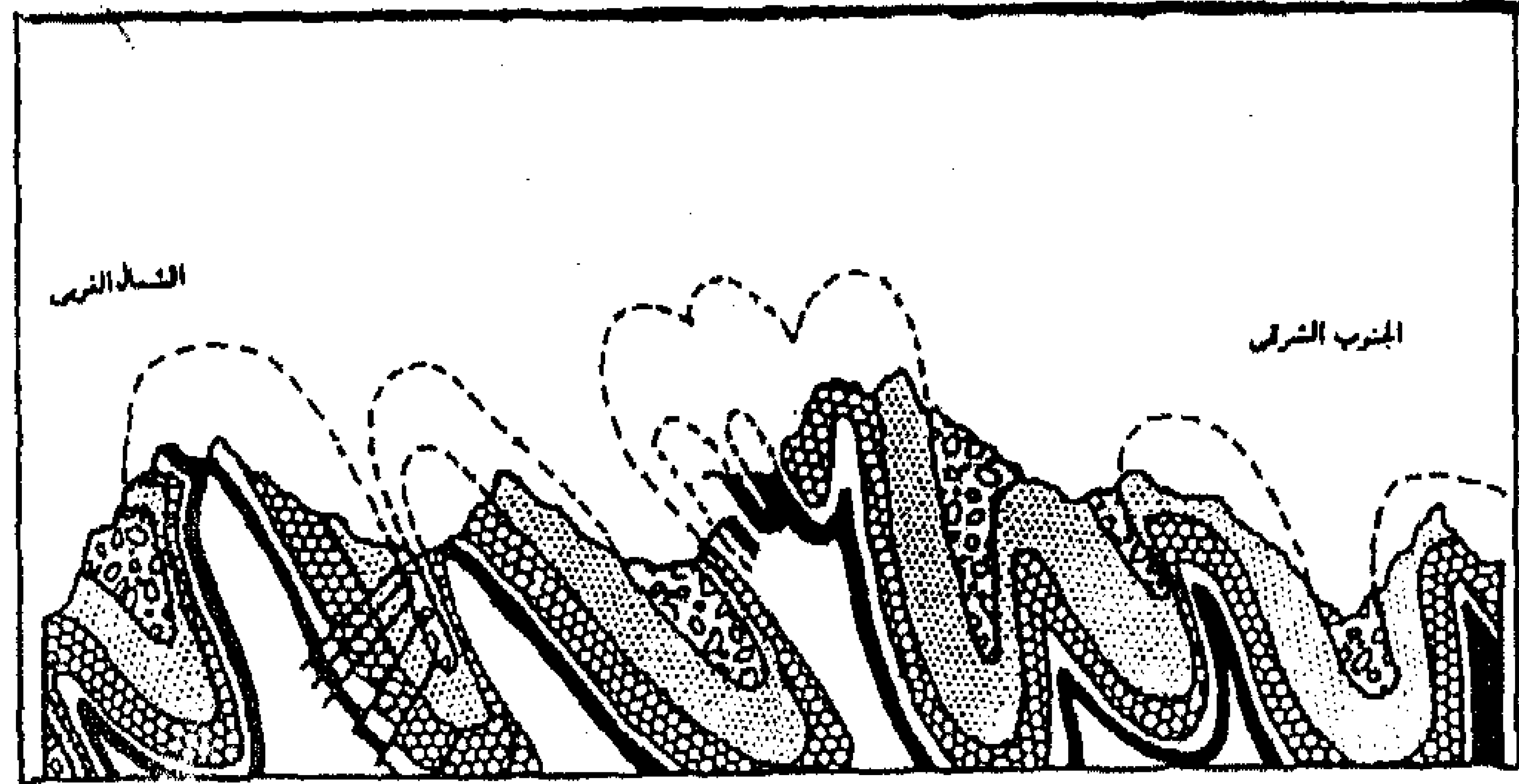
(شكل ٣٧) عناصر الإلتواء (الثنية المحدبة)

(1) Holmes A., "Physical Geology". Nelson (1959) p. 71 - 75.

عمودياً (٩٠ْ) يؤدى ذلك الى تكوين ثنيات محدبة رأسية أما إذا كانت زاوية المحور أقل أو أكثر من الزاوية القائمة فى حدود عشرين درجة (أى ٧٠ْ أو ١١٠ْ) فيؤدى ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة المائلة البسيطة. أما إذا كان الفرق فى ميل المحور عن الزاوية القائمة كبيراً (أى ٣٠ْ أو ١٥٠ْ) فيؤدى ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة المقلوبة. وإذا كان محور الثنية المحدبة شبه أفقى (أى يكون مع خط سطح الأرض الأفقى زاوية حادة جداً أو منفرجة جداً) فيؤدى ذلك الى تكوين الثنيات المحدبة النائمة أو المضطجعة (شكل ٣٨).

ومن النادر أن تكون جميع أجزاء الثنية المحدبة متساوية فى الشكل والمنسوب فوق سطح الأرض، بل كثيراً ما تكون الثنية المحدبة أعلى إرتفاعاً ومنسوباً فى جانب عنها فى جانب آخر. ومن ثم يميل سطح المحور المنصف للثنية المحدبة ميلاً بسيطاً أو شديداً من قمة الثنية الى قاع مستوى الثنية. ويطلق على الزاوية المحصورة بين هذا المستوى المائل (مستوى خط قمة الثنية) والمستوى الأفقى للمحور من عند نقطة قمة الثنية المحدبة اسم زاوية مستوى المحور[1] *Pitch*.

ويحدد طول الثنية المحدبة بطول المسافة التى تمتد فيها الثنية المحدبة على



(شكل ٣٨) نماذج مختلفة لثنيات محدبة فى مرتفعات الألب تبعاً لتنوع ميل المحور

(1) Longwell, G., R. Knopf, and Flint R. F., "Outline of Physcial Geology" p. 251.

مضرب الطبقات. أما عرض الثنية المحدبة فهو عبارة عن المسافة التى تشغلها الطبقات المنثنية فى اتجاه ميل الطبقات.

وبالنسبة للثنية المقعرة *Syncline*. فهى تشبه الثنية المحدبة إلا أنها مقلوبة الشكل. ويطلق تعبير قاع الثنية المقعرة على النقطة التى تمثل أقل منسوب لأسطح طبقات الثنية المقعرة، وأما الخط الذى ينصف الثنية المقعرة الى قسمين أو جانبين متساويين فيعرف باسم محور الثنية المقعرة *Axis of the syncline* وليس من الضرورى كذلك أن يكون هذا المحور عمودياً.

أشكال الثنيات أو الطيات

Kinds of folds

يتضح مما سبق أن الثنيات أو الطيات الصخرية *Folds* قد تكون على شكل ثنيات محدبة *Anticlines*، وفيها تنثنى الطبقات الصخرية الى أعلى وتميل الصخور خارج محور الثنية المحدبة، ومن ثم يكون إتجاه ميل الطبقات على جانبى الثنية المحدبة فى اتجاهين متضادين، كما قد تكون على شكل ثنيات مقعرة *Synclines* وفيها تنثنى الطبقات الصخرية الى أسفل وتميل الصخور الى الداخل نحو محور الثنية المقعرة ومن ثم يكون اتجاه ميل الطبقات على جانبى الثنية المقعرة فى اتجاهين متقابلين. ويمكن تصنيف الثنيات المحدبة والمقعرة الى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ - الثنيات المحدبة والمقعرة المتماثلة *Symmetrical* وفيها تكون زوايا ميل الطبقات الصخرية على جانبى محور الثنية المحدبة أو المقعرة متشابهة الى حد كبير، كما أنه يجب أن تكون جوانب الثنيات متساوية فى الطول ومتشابهة فى الشكل العام. وفى هذه الحالة ينصف المحور الثنية المحدبة أو المقعرة الى قسمين متناظرين.

ب - الثنيات المحدبة والمقعرة غير المتماثلة *Assymmetrical* وفيها يختلف مقدار زاوية ميل الطبقات الصخرية على جانبى محور الثنيات المحدبة والمقعرة. وفى هذه الحالة لا تتساوى جوانب الثنية المحدبة أو المقعرة فى الطول أو فى الشكل، كما لا ينصف محور الثنيات المحدبة أو المقعرة أى منها الى قسمين متساويين.

وعلى أساس إختلاف درجة ميل محور الثنية المحدبة وخصائصها العامة يقسم الباحثون الثنيات المحدبة الى المجموعات الآتية :

١ - ثنية وحيدة الجانب *Monocline* :

تتكون محلياً فى بعض أجزاء من المناطق الالتوائية. وتتميز الثنية المحدبة هنا بأن لها جانباً واحد فقط *One limp* أما الجانب الآخر فيصبح غير واضح وتكاد فيه الطبقات أفقية الميل (شكل ٣٩).

أ - وحيدة الجانب
ب - متماثلة
جـ - غير متماثلة
د - مقلوبة
هـ - نائمة أو مضطجعة
و - نائمة صدعية
ر - ثنيات متوازية
ز - ثنيات ملتوية
س - ثنية محدبة كبرى
ص - ثنية مقعرة كبرى

(شكل ٣٩) بعض اشكال الثنيات الإلتوائية

٢ - ثنية مقلوبة *Overturned* :

وتتمثل فى المناطق التى تعرضت لحركات التوائية شديدة نسبياً. ويتميز محور الثنية فى هذه الحالة بميله بنحو ٦٠ْ أقل أو أكثر عن الخط العمودى. كما يلاحظ بأن أغلب الثنيات المقلوبة نادراً ما تكون متماثلة، وكثيراً ما يكون ميل الطبقات على أحد جانبى الثنية أشد بكثير منه على الجانب الآخر.

٣ - ثنية نائمة أو مضطجعة *Recumbent Flod* :

وأهم ما يميزها زيادة درجة ميل المحور عن الخط العمودى ومن ثم يكاد يكون أفقياً، وتزيد أو تقل درجة ميل المحور بنحو ٧٠ْ الى ٨٠ْ عن الزاوية القائمة. وهكذا يتضح أن الثنية المحدبة تنثنى وتستلقى أو «تستند وتنام» على غيرها من الطبقات الصخرية الأخرى، ومن هنا جاءت تسميتها بالثنيات النائمة أو المضطجعة أو المستلقية.

٤ - ثنية نائمة صدعية *Over-thrust fold* :

وهى تشبه الثنية النائمة السابقة غير أنه نتيجة لشدة ميل محور الثنية عن الخط العمودى تتعرض الطبقات الصخرية لحركات من صدوع مندفعة *Over-thrust faults* وتتزحزح الطبقات بشدة على طول أسطح الصدوع، ومن ثم تتكون ثنيات نائمة صدعية. وتتمثل هذه المجموعات من الثنيات فى المناطق الضعيفة جيولوجياً والتى تتعرض لحركات رفع تكتونية عنيفة كما هو الحال فى مناطق المرتفعات الكبرى بجبال الألب والهيملايا والروكى.

٥ - الثنيات الملتوية والمتوازية :

فى الطبقات الصخرية التى تعرضت لحركات الرفع التكتونية قد تتكون مجموعات متجاورة من الثنيات المحدبة تنفصل عن بعضها البعض بواسطة الثنيات المقعرة، وقد تكون هذه الثنيات المحدبة رأسية الشكل أى أن محاورها تكون عمودية تماماً، وتتشابه جوانب الثنيات من حيث الشكل ومقدار زاوية ميل الطبقات، وتشبه الثنية المحدبة هنا الشكل الهرمى، وتعرف مثل هذه

المجموعة من الثنيات باسم الثنيات الملتوية *Zigzag fold*.

وقد تظهر أيضاً محاور الثنيات المحدبة المجاورة موازية لبعضها البعض الآخر، إلا أن الثنيات المحدبة قد تكون مائلة، ومثل هذه المجموعة تعرف باسم الثنيات المتوازية *Parallel Fold*.

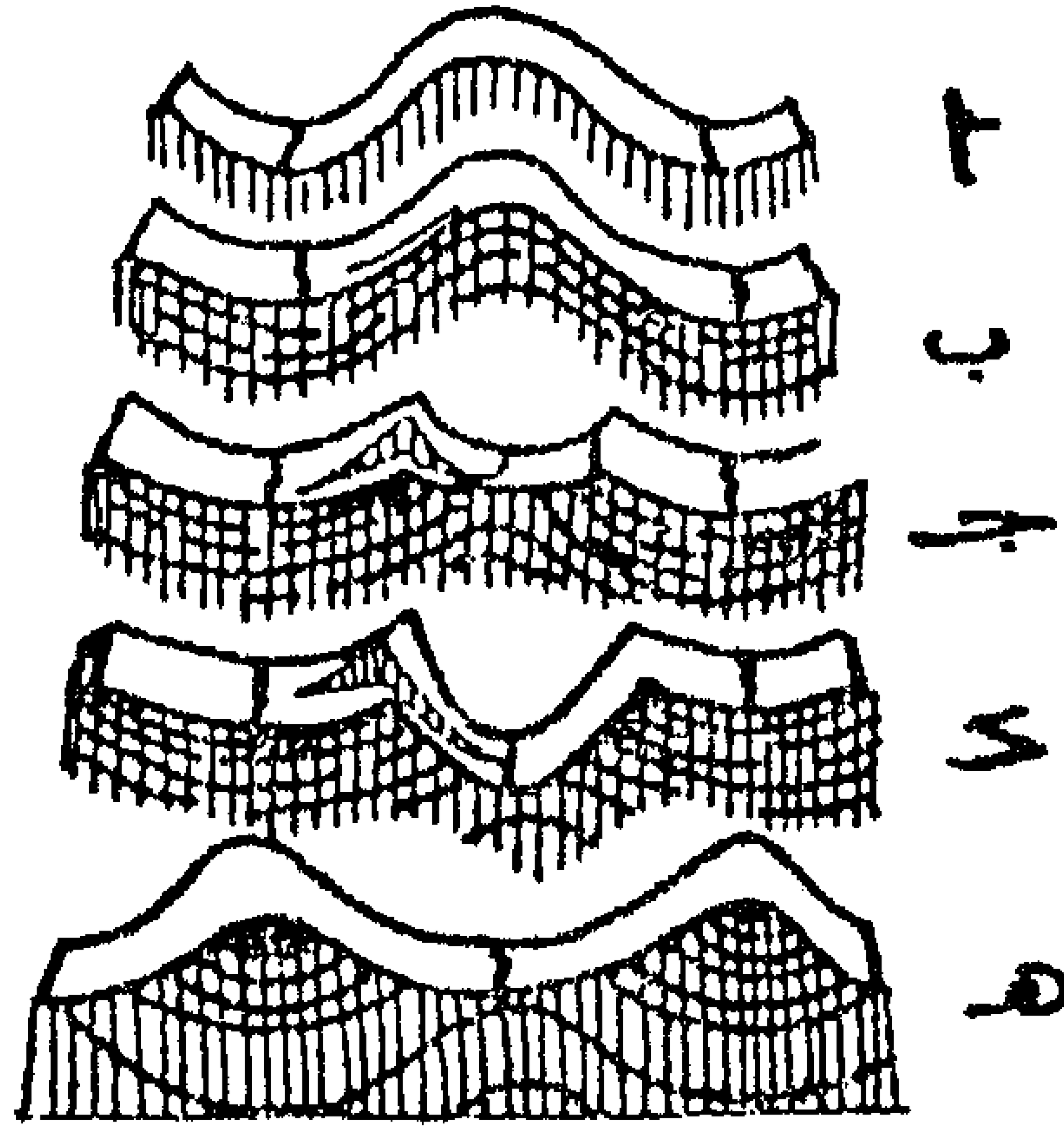
٦ - الثنيات المحدبة والمقعرة الكبرى :

عندما تقع ثنيات محدبة وأخرى مقعرة ثانوية ومتوسطة الحجم داخل نطاق ثنية محدبة كبرى هائلة الحجم فتعرف الأخيرة باسم *Anticlinorium* أما إذا تمثلت ثنيات محدبة وأخرى مقعرة متوسطة الحجم داخل نطاق ثنية مقعرة كبرى هائلة الحجم فتعرف الأخيرة باسم *Synclinorium*، ولا تتمثل هذه الحالة إلا فى المرتفعات الكبرى التى تعرضت لحركات رفع عنيفة خلال عدة مراحل متعاقبة وفى العقد الجيولوجية.

الطيات وعوامل التعرية *Flods and Erosion* :

إذا ظهرت الطيات أو الثنيات الملتوية المحدبة والمقعرة على سطح الأرض نتيجة لحركات الرفع الشديدة سرعان ما تتعرض بدورها لفعل عوامل التعرية المختلفة. وتساعد هذه العوامل الأخيرة على تشكيل المظهر التضاريسى لهذه الثنيات وذلك نتيجة لإكتشافها مناطق الضعف الجيولوجى فى الصخور وإزالة الطبقات اللينة، وتفتيت الصخور الصلبة وإزالتها هى الأخرى تدريجياً.

وعلى ذلك تتعرض قمم وأعالى الثنيات المحدبة لفعل عوامل التعرية التى كثيراً ما تكون فيها أنهار تالية *Subsequent* تمتد مع إتجاه مضرب الطبقات وعلى طول مستوى خط قمة الثنية المحدبة. ويتوالى عمليات النحت الرأسى والجانبى تتآكل القمة ليحل محلها منطقة خانقية أو منطقة حوضية نهرية. وفى مرحلة أخرى ونتيجة لإستمرار عمليات النحت وإزالة الصخور فى منطقة رأس الثنية المحدبة تتحول الأخيرة الى منطقة منخفضة المنسوب وحوضية ومقعرة السطح، فى حين تتحول الثنيات الصخرية الأصلية المقعرة الى مناطق هضبية مرتفعة المنسوب نسبياً تبعاً لتجمع الرواسب فيها (شكل ٤٠) ويطلق على هذه الحالة تعبير انقلاب السطح *Inversion of relief*.



(شكل ٤٠) إنقلاب مظهر سطح الأرض فى مناطق الثنيات الالتوائية

٢ - الصدوع (الانكسارات)

يقصد بتعبير الصدوع *Faults* حدوث كسر فى الطبقات الصخرية بحيث تصحبه زحزحة بعض أجزاء الطبقات رأسياً أو أفقياً. وتتأثر هذه الحركات الصدعية التكتونية بفعل قوى الشد والضغط المختلفة التى تتعرض لها صخور قشرة الأرض. وقد استخدم الكتاب مرادفات كثيرة تشير الى نفس مدلول كلمة الصدوع. فقد استخدم الأستاذ محمد متولى [١] . تعبير «الانكسارات» أو «العيوب» بينما يستعمل الجيولوجيون ومن بينهم حسن صادق [٢] ويحيى أنور [٣]، وفخرى موسى [٤] تعبير «الفوالق».

ومما يؤخذ على تعبير «الانكسارات» أنه لا يؤكد حدوث زحزحة أو إختلاف

(١) محمد متولى موسى «وجه الأرض» القاهرة ١٩٥٥ – ص ٦٦ .
(٢) حسن صادق «الجيولوجيا» القاهرة ١٩٢٩ ـ ص ١٥٩ .
(٣) يحيى محمد أنور وآخرون «الجيولوجيا الهندسية» القاهرة ١٩٦٨ ص ١٥٤ .
(٤) فخرى موسى وآخرون «الجيولوجيا الهندسية» القاهرة ١٩٦٨ ص ١٥٤ .

فى منسوب أو مستوى الطبقات التى انكسرت. ولكن حيث استخدم هذا التعبير منذ فترة طويلة فقد شاع استخدامه فى كثير من الدراسات الجغرافية والجيولوجية فيما قبل السبعينيات. «وصدوع» مفردها «صدع»، ويقصد بذلك تعرض الطبقة الصخرية لإنكسار تصحبه زحزحة وإختلاف فى منسوب أو مستوى الطبقات ويطلق على الحركة نفسها اسم حركة التصدع *Faulting* كما يمكن استخدام صفة من اسم الصدع كأن نقول مثلاً حافة صدعية *Fault Scarp*، أى حافة صخرية تكونت أساساً بفعل التصدع وعلى طول سطحه. وقد استخدم الكاتب هذه المصطلحات الأخيرة والتى سبق له أن اقترحها منذ عام ١٩٦٥ (١).

أجزاء الصدع وعناصره :

إذا تعرضت طبقة ما فى الصخور حركات التصدع، وتزحزحت بعض أجزائها رأسياً على طول سطح الصدع لأمكن أن نميز العناصر الآتية :

أ - سطح الصدع *Fault Surface* : وهو عبارة عن السطح الذى تزحزحت عليه الطبقات ويسميه بعض الكتاب مستوى الصدع *Fault Plane* إلا أن سطح الصدع نادراً ما يكون مستوياً لمسافة كبيرة فى الطبيعية وإذا تأثرت الطبقة الصخرية بعدة أسطح صدوع متجاورة جداً فيتكون فى هذه الحالة النطاق الصدعى *Fault Zone*.

ب - ميل الصدع *Dip of the Fault* : هو عبارة عن مقدار الزاوية المحصورة بين ميل سطح الصدع ومستواه الأفقى، ويطلق على الزاوية المتممة لزاوية ميل الصدع اسم زاوية حيود الصدع *Hade of the Fault* أما أى خط عمودى على ميل الصدع فيعرف باسم مضرب الصدع.

جـ - الجانب المرفوع *Up-throw side* : ويطلق على الجانب الذى ارتفع الى

---

(١) حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» ـ دار المعارف ـ الاسكندرية ١٩٦٥ ـ الطبعة الحادية عشر ١٩٩٥.

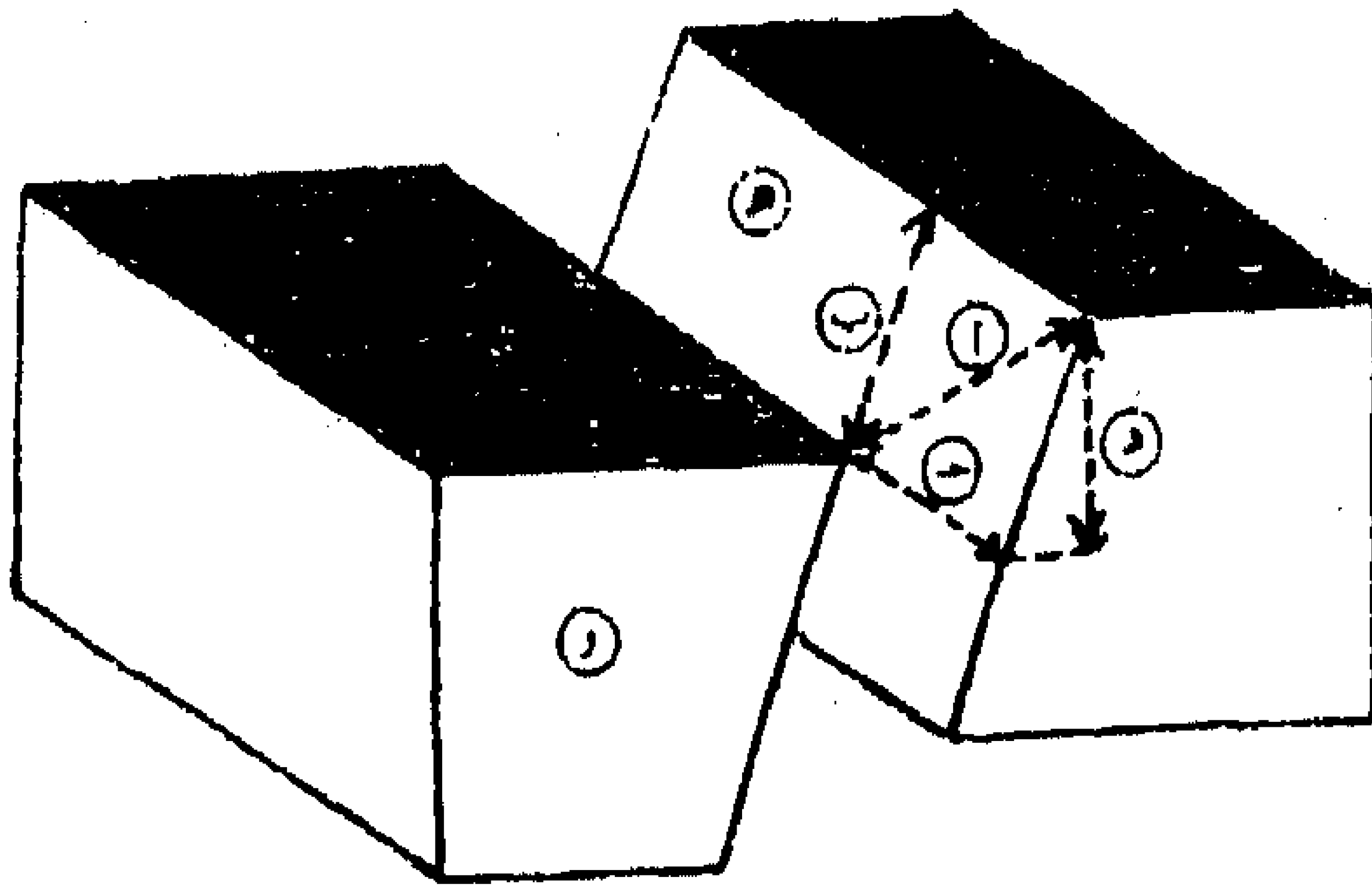
أعلى على طول سطح الصدوع، أما الجانب الآخر من الطبقة الصخرية والذى هبط الى أسفل على طول سطح الصدع فيعرف باسم الجانب الهابط *Down throw side*.

ويطلق على كتلة الصخور التى تعلو سطح الصدع مباشرة اسم الحائط المعلق *Hanging wall* أما كتلة الصخور التى تتمثل أسفل سطح الصدع مباشرة فتعرف باسم الحائط الأسفل *Foot wall* (شكل ٤١).

د - **مرمى الصدع** *Throw of Fault* : ويقصد بذلك مقدار الانتقال الرأسى لأى طبقة صدعية على جانبى الصدع. وينبغى أن يكون مقياس مرمى الصدع عمودياً على اتجاه الطبقات.

هـ - **الزحزحة الجانبية** *Lateral Shift or Heave* : ويقصد بذلك تحديد مقدار الزحزحة الأفقية على طول مضرب الطبقات وينبغى أن يكون قياس الزحزحة الجانبية عمودياً على مضرب الصدع.

و - **الزحزحة الكلية** *Slip* : ويشير هذا التعبير الى المسافة الكلية التى تتحركها أى طبقة على سطح الصدع.



(شكل ٤١) أجزاء الصدع وعناصره

أنواع الصدوع

حيث إن أهم ما يميز الحركات الصدعية هو كيفية زحزحة أجزاء الطبقات أفقياً أو رأسياً على طول أسطح الصدوع، فقد اعتبر الجيولوجيون اختلاف نوع الحركات المؤدية الى تكوين الصدوع وطبيعة اتجاه الطبقات الصخرية وزحزحتها على طول أسطح الصدوع عاملين رئيسيين عند تصنيف الصدوع الى أشكال مختلفة. ووفقاً لذلك يمكن أن نميز الصدوع الآتية :

أ – الصدع العادى البسيط *Normal Fault* :

ينتج أساساً عن عمليات شد الطبقات الصخرية *Tension* أكثر من تكوين الصدع بفعل الضغط *Compression* ومن ثم قد يعرف باسم صدع الشد *Tension Fault* . ويتميز الصدع العادى بأن اتجاه ميل الصدع يتفق مع اتجاه الرمية. وتتراوح زاوية سطح الصدع فى هذه الحالة من ٤٥ْ الى ٩٠ْ. ونتيجة لرمى الطبقات الى أسفل فإن الحائط المعلق ينخفض منسوبه عن الحائط الأساسى أو الأسفل.

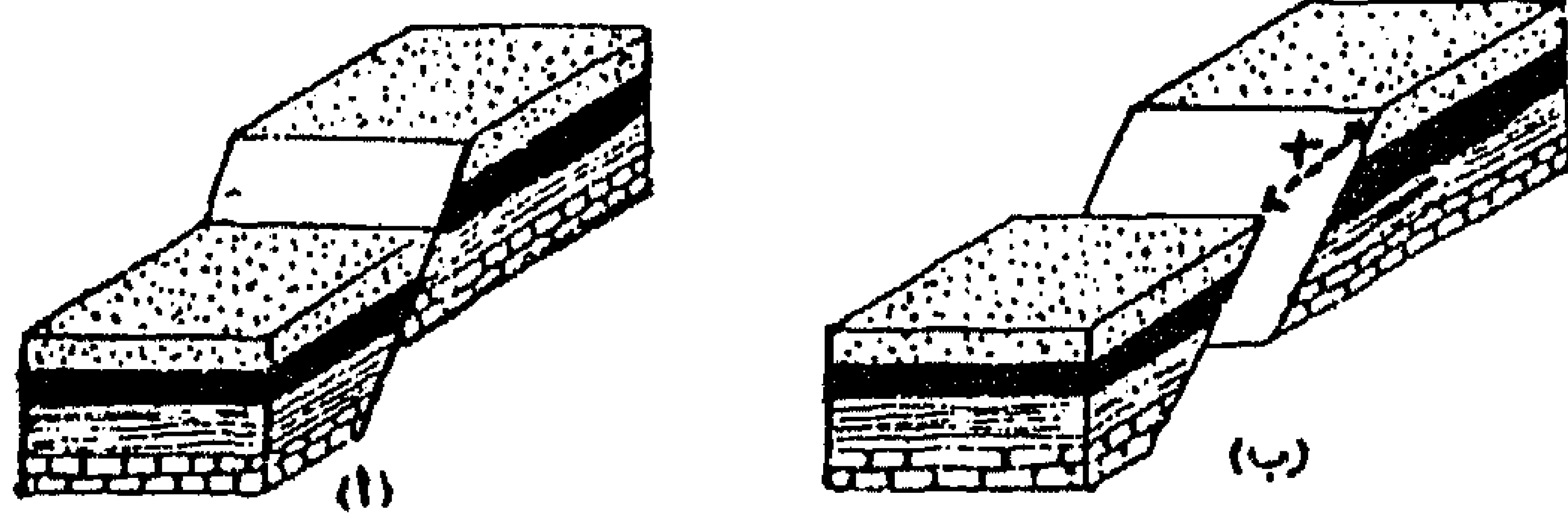
ب – الصدع العكسى أو المعكوس *Reverse or Thrust Fault* :

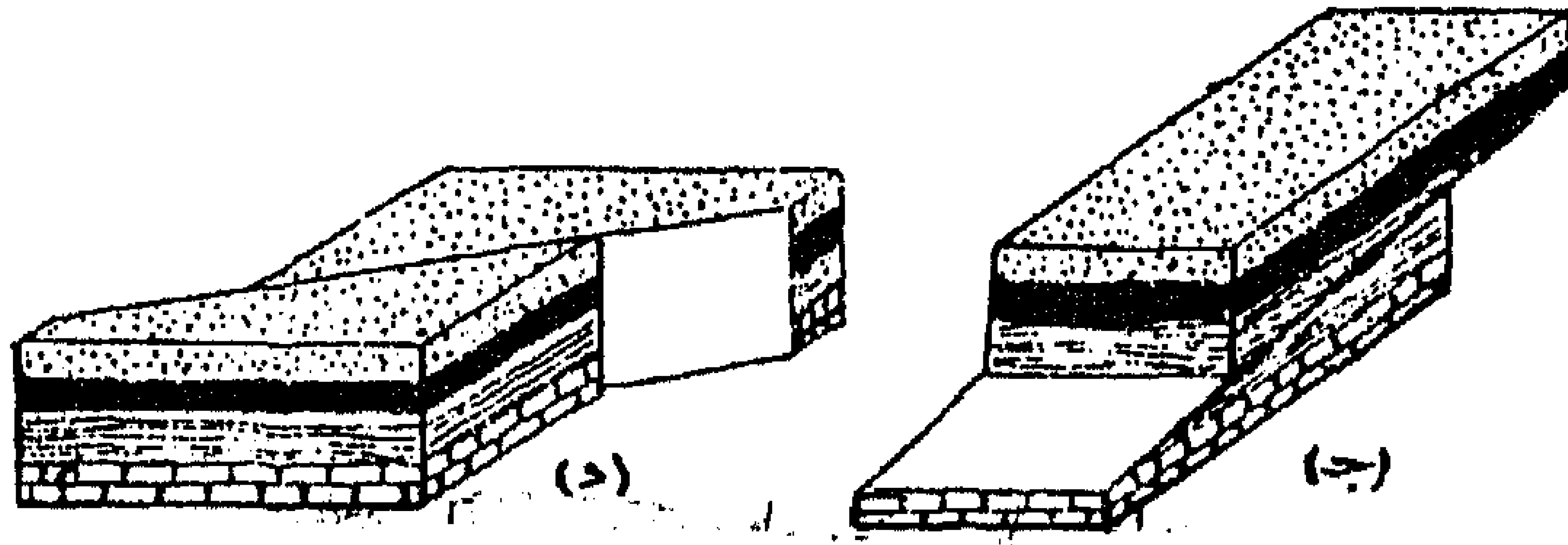
ينتج هذا النوع من الصدوع نتيجة لعمليات الضغط أكثر من عمليات الشد. ويتميز هذا الصدع بأن زاوية سطح الصدع حادة جداً، وتتراوح من المستوى الأفقى حتى زاوية قدرها ٤٥ْ أو أقل. ومن ثم يصاحب هذا النوع من الصدوع مراحل تكوين الثنيات المحدبة النائمة أو المضطجعة. ومن خصائص الصدع العكسى أن ميل سطح الصدع يكون عكس اتجاه الطبقات التى رميت الى أسفل (شكل٤٢) .

وقد وصف الأستاذ لونجويل *C. R. Longwell* (١) مراحل تكوين الصدوع

---

(1) Longwell, C. R., and others "Outlines of physical geology" N. Y., (1974), p. 312.



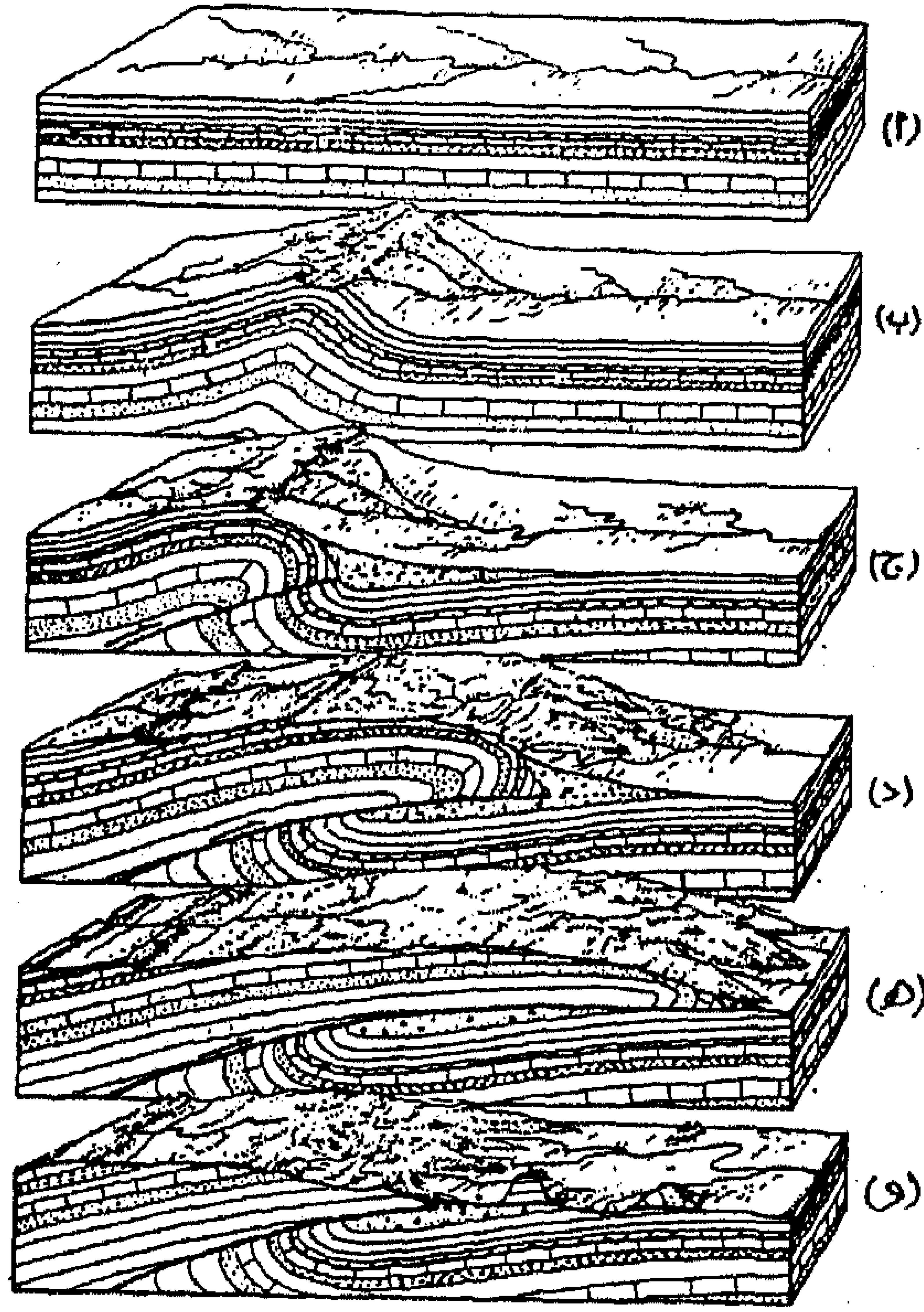


أ – صدع عادى بسيط. ب – صدع عادى مع زحزحة مائلة.
جـ – صدع معكوس. د – صدع جانبى أو أفقى.

(شكل ٤٢) بعض أنواع الصدوع

العكسية فى عدة أشكال تصورية. ففى (شكل ٤٣ أ) يتضح أن الطبقات الصخرية لم تتأثر بعد بحركات تكتونية. ثم فى (شكل ٤٣ ب) يتضح أن عمليات الضغط الجانبى أدت الى تكوين ثنية محدبة فى الصخور. أما فى مرحلة جـ فإن الثنية النائمة تأثرت بحدوث الصدوع وتكونت الصدوع العكسية.

وفى مرحلة د، يلاحظ أن الطبقات تستمر فى زحزحتها على طول سطح الصدع، وتتباعد أجزاء الطبقة الواحدة عن بعضها البعض ويتأثر سطح الأرض فى كل مرة بفعل عوامل التعرية المختلفة. أما فى مرحلة هـ فيصل الصدع العكسى الى قمة فترات نموه ثم فى مرحلة متأخرة يزداد تشكيل سطح الأرض بفعل عوامل التعرية التى تنحت المحدبات بحيث لا يتبقى منها فى النهاية سوى جبال انفرادية منعزلة، ويحدث الارساب فى المقعرات (شكل ٤٣ و).



(شكل ٤٣) مراحل تكوين الصدوع العكسية تبعاً
لدراسات الأستاذ لونجيل C. R. Longwell

جـ - الصدع الأفقى أو الجانبى *Lateral or Tear Fault* :

يتكون نتيجة لحركات شد الطبقات على طول اتجاه خط الظهور أو مضرب الطبقات. ومن ثم يطلق على هذا النوع من الصدوع اسم *Strike Slip Fault or Transcurrent*. وتصاحب الصدوع الأفقية الثنيات النائمة المضطجعة والمعروفة باسم النابية *Nappes*. وفى هذه الحالة لا تُرمى الطبقات الى أعلى أو الى أسفل ولكن تتزحزح على طول مضرب الطبقات.

جـ - الصدوع الدورانية *Rotational Fault* :

يحدث هذا النوع من الصدوع عند تأثر بعض الطبقات بالصدوع بحيث

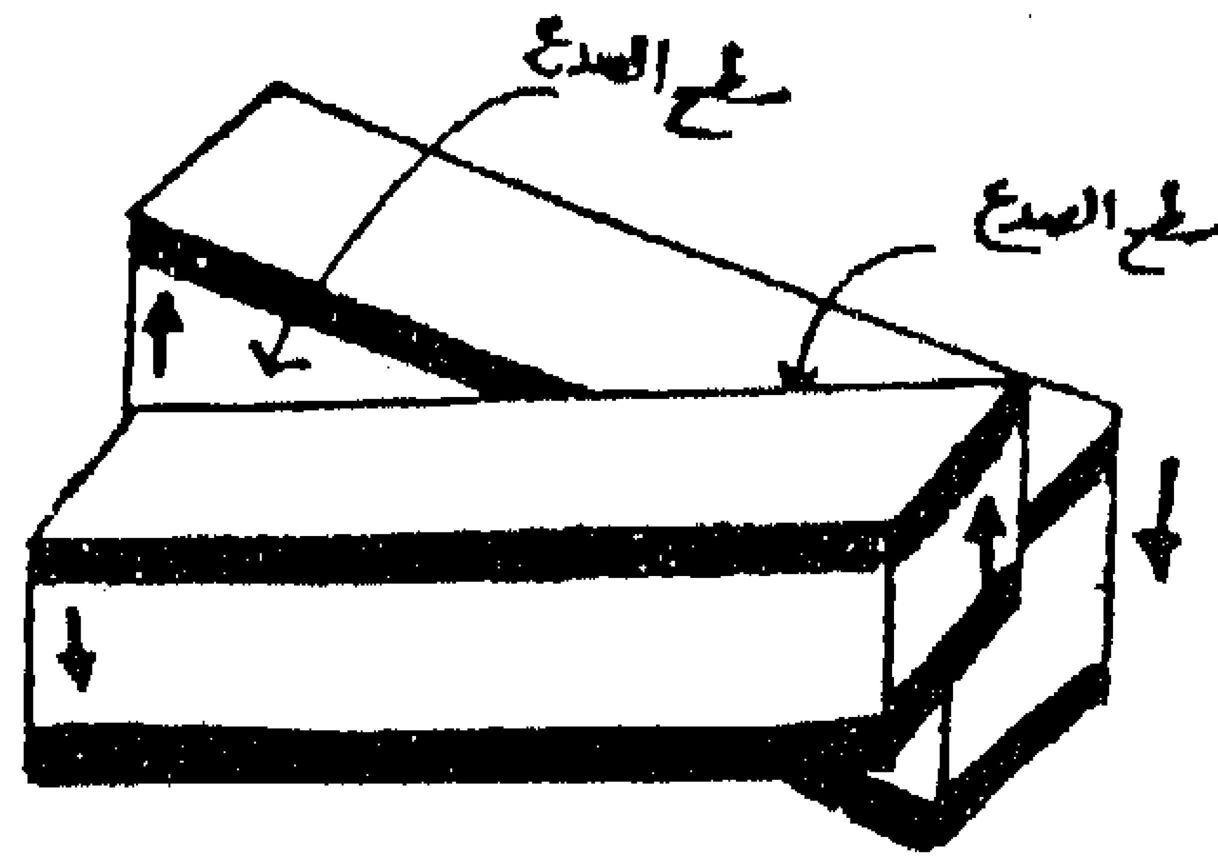
تتعرض أجزاء من الطبقة للرمى الى أعلى وتهبط أجزاء أخرى منها الى أسفل (شكل٤٤).

ونتيجة لحدوث الصدوع وتزحزح الطبقات قد يؤدى ذلك الى تكرار ظهور أو حدوث الطبقة الواحدة أو إختفاء جزء منها. فإذا كان الصدع قد حدث على طول مضرب الطبقات فقد يؤدى ذلك الى تكرار حدوث الطبقة الواحدة بالقرب من منطقة سطح الصدع.

وعلى أساس إختلاف أشكال مجموعات معينة متجاورة من الصدوع (فى مناطق صدعية *Faulted Zones* تأثرت بأكثر من صدع واحد) وتجاور عدة أسطح صدوع مع بعضهما البعض، أو أنها تكون جميعاً ظاهرة بارزة على سطح الأرض، يميز الجيولوجيون مجموعات الصدوع المركبة الآتية :

أ - الصدوع السلمية *Step Faults* :

إذا كانت أسطح الصدوع العادية المتجاورة متوازية ورمياتها فى اتجاه واحد، فيؤدى ذلك الى رمى الطبقات الى أسفل على شكل مصاطب أو مدرجات سلمية، ويطلق على مثل هذا النوع من الصدوع اسم الصدوع السلمية (شكل٤٥).



(شكل ٤٤) الصدوع الدورانية حيث إن جزء من الطبقة التى رميت الى أعلى يرتفع الى أعلى وجزء آخر منها يهبط الى أسفل، وتحدث نفس العملية فى الطبقة التى رميت الى أسفل

ب - الصدوع المكونة للضهور الصدعية ***Horsts Faults*** :

وهى عبارة عن صدوع مركبة تحدث فى كتلة ضخمة من الطبقات الصخرية، وتؤدى الى رفع القسم الأوسط منها، وبروزه بمنسوب مرتفع فوق أجزاء سطح الأرض المجاورة. ويطلق على تلك الكتل الصخرية الصدعية البارزة اسم الضهر «هورست *Horst*». وتتميز الجوانب الحائطية للضهر الصدعى بشدة انحدارها، وانصقال جوانبها (شكل ٤٥ ب).

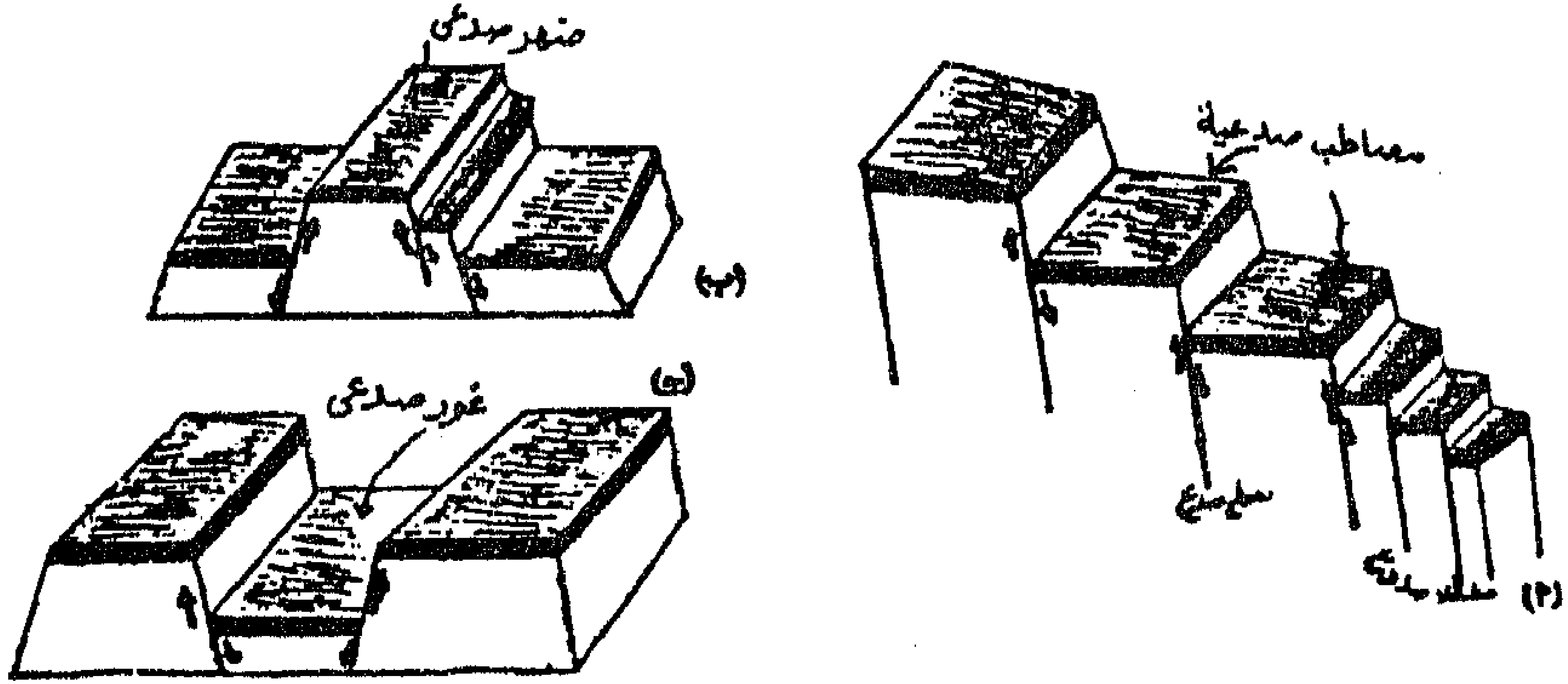
جـ - الصدوع المكونة للأغوار الصدعية الهابطة :

Graben or Trough Faults

وهى أيضاً من مجموعة الصدوع المركبة التى تنشأ فى طبقات صخرية كبيرة السمك، ونتيجة لحركات شد وضغط عنيفين. وهى تشبه الصدوع المكونة للضهور الصدعية لكن بدلاً من أن يرتفع القسم الأوسط الى أعلى نجده فى هذه الحالة يهبط الى أسفل مكوناً منطقة حوضية صدعية، وترتفع الطبقات الصخرية الأخرى الى أعلى على جانبى الحوض الصدعى (شكل ٤٥ جـ).

ومن بين أظهر أمثلة الصدوع المركبة المكونة للضهور والأغوار الصدعية تلك التى تؤثر فى تشكيل المظهر التضاريسى للكتل القارية الصلبة القديمة، وخاصة فى أفريقيا وجنوب غربى آسيا. فقد نجحت مثل هذه الصدوع المركبة فى تكوين الظاهرة الكبرى المعروفة باسم الأخدود الأفريقى العظيم *The Great African Rift Valley* وأول من ميز هذا الأخدود الصدعى هو الباحث جريجورى *J. W. Gregory* (١). ويمتد هذا الأخدود الصدعى على شكل حوائط ومرتفعات صدعية تحصر بينها أحواض صدعية على شكل حوائط ومرتفعات صدعية تحصر بينها أحواض صدعية هابطة لمسافة تزيد عن ٣٠٠٠ ميل. وهو يبدأ جنوبياً من بحيرة نياسا، وعند القسم الشمالى من

(1) Gregory, J. W., "The Rift Valley and the Geology of Eastern African," (1921), London.



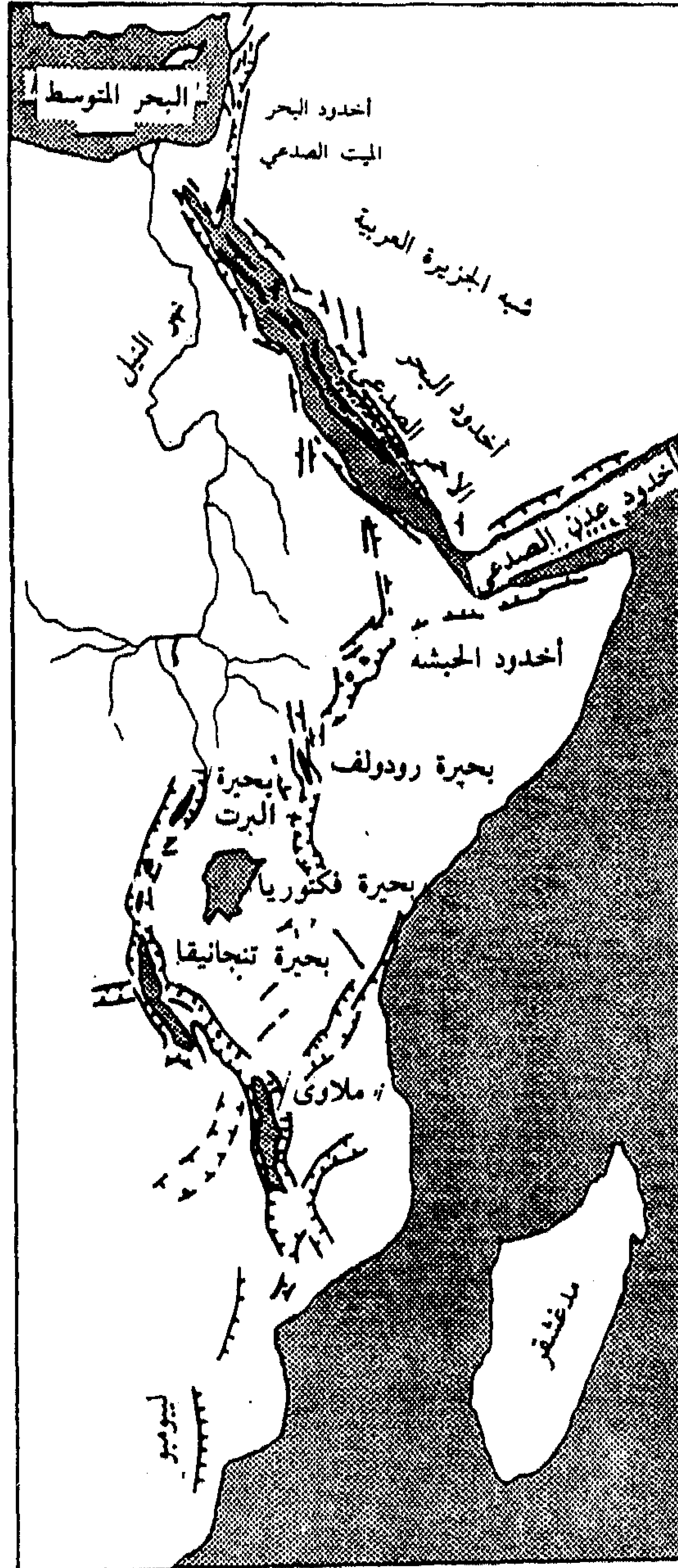
(شكل ٤٥) بعض أنواع من مجموعات الصدوع المركبة
أ – السلمية ب – صدوع الضهور الصدعية جـ – صدوع الأغوار الصدعية

البحيرة بالقرب من جبل رونجوى يتفرع الأخدود الصدعى الى فرعين هما :

أ – الفرع الغربى وتقع فى حوضه الصدعى الهابط مجموعة من البحيرات تشمل من الجنوب الى الشمال بحيرات تنجانيقا وكيفو وادوارد وألبرت (شكل٤٦) .

ب – الفرع الشرقى ويقع فى أحواضه وأغواره الصدعية عديد من الظواهر والبحيرات تشمل من الجنوب الى الشمال بحيرات أياسى *Eyasi* وناترون وماجاوى ونيفاشا وبارينجو على الجانب الشرقى لهضبة البحيرات. ثم تشغل أغوار هذا الأخدود العظيم بحيرات رودلف وستيفانى وبعض البحيرات الصغيرة جنوب أديس أبابا بالحبشة، وبعدها يقع كل البحر الأحمر فى الحوض الصدعى العظيم لهذا الأخدود. كما تمتد أبعاد الأخدود شمالاً لتضم غور نهر الأردن والحوض الصدعى لسهل البقاع.

ومن ثم يمكن القول أن أظهر أمثلة الأغوار الصدعية الكبرى فى العالم هى أغوار الأخدود الأفريقى العظيم فى شرق أفريقيا وحوض نهر الأردن وامتداده فى سهل البقاع. هذا الى جانب أغوار حوض وادى ديث *Death Valley* فى أمريكا الشمالية وغور الرين الصدعى *The Rhine graben* ومن بين نماذج أمثلة الضهور الهضبية الصدعية تلك التى تتمثل فى ضهور مرتفعات الفوج الى الغرب من غور الرين الصدعى، والغابة السوداء الى الشرق منه، وكذلك هضبة فلسطين وهضبة الأردن الصدعيتين.



(شكل ٤٦) الأخدود الصدعى الأفريقى العظيم

الفصل السابع
القـــوى الخـــارجـيــة
وأثرها فى تشكيل سطح الأرض

تؤثر العوامل الداخلية فى أشكال البنية الجيولوجية *Structure* لقشرة الأرض وتنوعها من إقليم الى آخر وفى نظام ميل الطبقات الصخرية الرسوبية وبعض الصخور المتحولة (من أصل رسوبى)، كما قد تؤدى الى انبثاق كتل اللافا والمصهورات البركانية فوق السطح. وعندما تظهر تلك الصخور بأشكالها المختلفة على سطح القشرة الأرضية تتعرض بدورها لفعل القوى الخارجية [١].

وتؤثر عناصر هذه القوى الخارجية فى الأشكال التضاريسية لسطح الأرض، ويقسم الباحثون العوامل الخارجية الى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ – عوامل التجوية : *Weathering* ويقصد بها تلك العوامل التى تؤثر فى تفكيك الصخر وتفتيته فى موقعه *In Situ* وقد يتم ذلك ميكانيكياً أو بيولوجياً أو تحلله كيميائياً.

ب – عوامل التعرية : *Erosional Processes* ويقصد بها تلك العوامل التى تعمل على نحت الصخر وإظهار ما يقع تحته، ولا يقتصر عملها على فعل النحت فقط بل ونقل المفتتات الصخرية من مكان الى آخر وإرسابها فى مناطق قد تبعد مئات الأميال عن المناطق التى انفصلت عنها. ومن أهم هذه العوامل فعل المياه الجارية السطحية والمياه الجوفية والرياح، وفعل البحر وفعل الجليد.

---

(١) أى القوى التى تحدث فوق سطح الأرض.

أولاً : فعل التجوية

يمكن أن نميز فعل التجوية فى العمليات الآتية :

١ - التجوية الميكانيكية *Mechanical Weathering* :

ويقصد بها تفكيك الصخر وتقسيمه الى مفتتات صغيرة الحجم دون أن يتغير تركيبه المعدنى، وتتم التجوية الميكانيكية عملها فى الصخر بواسطة عدة طرق مختلفة أهمها :

أ - تعرض أسطح الصخور لدرجات الحرارة المتغيرة : وخاصة فى المناطق التى يزداد فيها المدى الحرارى اليومى والفصلى. ففى تلك المناطق تتمدد الجزيئات المعدنية للصخر بفعل تسخين سطحه أثناء النهار خلال أيام الفصل الحار فى حين تنكمش جزيئات معادن الصخر من جديد عندما يبرد سطحه أثناء الليل وخلال أيام الفصل البارد. وعلى الرغم من أن عملية تمدد جزيئات معادن الصخر وانكماشها بفعل التسخين والتبريد *Heating and Cooling* تحدث ببطء وبنسبة محدودة جداً، إلا أن إستمرار حدوث تلك العملية يوماً بعد يوم يؤدى الى إتساع فتحات الشقوق الصخرية (خاصة فى الأجزاء العليا من الصخر) وتساعد هذه العملية بدورها على كثرة وجود مناطق ضعيفة جيولوجياً فى الصخر من ناحية وتفتيت الصخر وتفكيكه من ناحية أخرى. وتعرف عملية تفكيك الصخر وتقشير أجزائه العليا تبعاً لتعرضه لدرجات الحرارة المتغيرة باسم «تقشير الصخر» *Exfoliation*. وعندما تتغطى الأسطح الصخرية بالمياه تارة (عند ضفاف المجارى النهرية وخطوط السواحل البحرية والبحيرية) ثم انحسار المياه عناه تارة أخرى وتكرار حدوث هذا الأمر، تتعرض الصخور فى هذه الحالة لتتابع عمليات التبلل *Wetting* والجفاف *Drying*، ويسهم ذلك فى سرعة تجويتها طبيعياً.

ب - تعرض أسطح الصخور للبرودة الشديدة فى المناطق الباردة : عندما

تتعرض الصخور لفعل البرودة الشديدة أو التجمد *Freezing* أثناء الليل أو خلال الفصل البارد ولفعل الإنصهار *Thawing* أثناء النهار، قد يؤدى ذلك الى تجمد المياه داخل فتحات الشقوق الصخرية وتنصهر المياه المتجمدة أثناء النهار. وتبعاً لزيادة حجم المياه بعد تجمدها يتحطم الصخر وتتسع فتحاته وتتفكك جزيئاته. وتعرف هذه العملية باسم تتابع فعل التجمد والانصهار فى الصخر *Freezing and Thawing* وتشيع هذه العملية فى العروض الباردة والمعتدلة الباردة.

٢ - التجوية الكيميائية *Chemical Weathering* :

وقد ينشط فعل التجوية الكيميائية فى الصخور تحت بعض الظروف الخاصة وهذه تتوقف أساساً تبعاً للعلاقة المتبادلة بين الغلاف الجوى والتكوين الصخرى لأسطح المناطق المختلفة من القشرة الأرضية. وعند حدوث التجوية الكيميائية فإنها لا تؤدى فقط الى تفتيت الصخر، بل ينجم عنها كذلك تحليله وتغير بعض من تكويناته المعدنية الى معادن أخرى قد تكون مختلفة الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية، وتعرف هذه العملية باسم «التحلل الصخرى» *Rock decay* (١).

وعندما يتفاعل الأوكسجين مع الصخر فإنه يؤدى الى أكسدة معادن الصخر *Oxidation* ، وتظهر الصخور غالباً باللون الأحمر دلالة على حدوث أكسدة المواد الحديدية بها، أما أثر فعل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الصخور فيعرف باسم عملية التكربن *Carbonation* وعملية التميوء *Hydration* أو الحلمأة على التوالى. كما قد يؤدى وجود الماء كذلك الى إذابة بعض معادن الصخر مثل كربونات الكالسيوم مثلاً، التى تمثل نسبة كبيرة من تركيب الصخور الجيرية، وتعرف هذه العملية الأخيرة باسم عملية الاذابة *Solution*.

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» الطبعة الحادية عشرة الاسكندرية (١٩٩٥).

كما تعمل الكائنات الحية مثل جذور الأشجار والديدان والنمل الأبيض والبكتيريا والحيوانات القارضة وخاصة الكلاب البرية والأرانب والماشية وكذلك الانسان على تجوية سطح الأرض بيولوجياً *Biological and Anthropogenetic Weathering*.

ولا تستقر المفتتات الصخرية بعد تفكيكها ميكانيكياً أو تحللها كيميائياً فى موقع ثابت، بل كثيراً ما تكون معرضة للحركة المستمرة *Mass Wastage* من مكان الى آخر بواسطة فعل الجاذبية الأرضية وعن طريق كل من النقل *Transportation* ، والزحف *Creeping* ، والتساقط *Falling*، والانسياب *Flawing*، والانزلاق *Sliding* تتجه المفتتات الصخرية دائماً نحو المنحدرات السفلية أو تتدحرج وتنزلق من أعلى الى أسفل، ويشكل عملية تحركها العوامل الآتية :

أ - زيادة الضغط الواقع فوق المفتتات الصخرية تبعاً لازدياد تراكمها فوق بعضها البعض.

ب - زيادة نسبة الرطوبة فى الرواسب وارتفاع كمية المياه فيها.

جـ - فعل الجاذبية الأرضية.

د - شكل الانحدار العام للسطح.

هـ - اختلاف التكوين الصخرى للمواد التى تتألف منها المفتتات الصخرية.

وتبعاً لهذه العوامل السابقة قد تكون حركة تدفق المفتتات الصخرية بطيئة وينجم عنها تكوين الظاهرات التضاريسية الناتجة عن عمليات الزحف *Creeping* ، أو قد تكون سريعة وتؤدى الى تكوين ظاهرات تضاريسية أخرى تنتج عن عمليات التساقط والانزلاق *Falling and Landsliding* .

ثانياً : عوامل التعرية

إذا كان التكوين الصخرى ونظام البنية الجيولوجية لهما الأثر الكبير فى خصائص مادة الصخرة وتنوع صلابته من جزء الى آخر، فإن عوامل التعرية هى التى تشكل فيه ظاهرات تضاريسية جديدة تختلف مجموعاتها من حيث الشكل والنشأة تبعاً لتنوع فعل عوامل التعرية من مكان الى آخر. ومن ثم فإن عوامل التعرية أشبه بالنحات الذى يشكل مادة الصخر التى تقع تحت يديه الى أشكال وصور مختلفة. ولا يقتصر فعل عوامل التعرية على نحت الصخر فقط بل تعمل كذلك على نقل المفتتات الصخرية من مكان الى آخر، وارسابها فى مناطق أخرى قد تبعد كثيراً عن المناطق التى نشأت فيها. وفى مجال هذه الدراسة سنشير بإيجاز الى نماذج مختارة لفعل بعض عوامل التعرية وتتمثل فى الآتى :

١ - فعل المياه الجارية السطحية.
٢ - فعل المياه الجوفية.
٣ - فعل الرياح.
٤ - فعل البحر.
٥ - فعل الجليد.

١ - المياه الجارية السطحية

يقصد بالمياه الجارية السطحية، المجارى النهرية ومجارى السيول المتقطعة الجريان، والمياه المنصهرة من الجليد والتى تجرى جميعها فوق سطح الأرض وتنحدر من المناطق المرتفعة المنسوب الى الأخرى الأقل منسوباً وتعد الأمطار والثلوج المتساقطة من المصادر الرئيسية لإستمرار جريان المياه السطحية. وتعمل المياه الجارية بما تحمله من رواسب ومفتتات صخرية على شق مجرى النهر فى سطح الأرض وحفره. وقد تتعرض مياه الأنهار لعوامل مختلفة تؤثر

فى اختلاف منسوب سطح مياه النهر من وقت الى آخر وتتمثل فيما يلى :

أ - فعل التبخر الذى يزداد أثره بشكل واضح فى المجارى النهرية التى تخترق مناطق حارة جافة.

ب - تسرب بعض مياه مجرى النهر فى الصخور المسامية وخلال فتحات الشقوق والفوالق الصخرية.

جـ - دخول مجرى النهر مناطق حوضية أو بحيرات ثم يخرج منها أقل حجماً عما كان عليه من قبل.

د - عبور المياه مناطق مستنقعية تعمل النباتات فيها على امتصاص نسبة كبيرة من مياه مجرى النهر، ولو أن بعض هذه المياه تخرج ثانية الى الجو عن طريق النتح.

كما تختلف سرعة النهر ومدى إتساع مجراه تبعاً لما يلى :

أ - حجم المياه الممثلة فى مجرى النهر.

ب - سرعة اندفاع المياه فى مجرى النهر والتيارات المختلفة فيه.

جـ - مدى انحدار مجرى النهر.

د - خصائص المواد التى يحملها النهر وتنوع حجم المفتتات الصخرية.

هـ - إختلاف التكوين والتركيب الجيولوجى للمنطقة التى يمر فيها مجرى النهر.

و - مراحل نمو مجرى النهو وواديه سواء أكان فى مرحلة الطفولة (بداية نموه) أو الشباب أو النضج.

وتبعاً للعلاقة بين كميات التساقط ومدى التبخر وكمية تسرب مياه الأنهار ونوع الصخور تختلف كثافة المجارى النهرية. ويمكن القول بأن كثافة المجارى النهرية تزداد بشكل ملحوظ فى المناطق الاستوائية أو المعتدلة والمعتدلة الباردة نتيجة لزيادة كميات التساقط، وقلة مقدار التبخر، فى حين تقل كثافة المجارى النهرية فى المناطق الحارة الجافة تبعاً لندرة سقوط الأمطار، ولشدة درجة التبخر. ومع ذلك قد تتكون أنهار كبرى فى بعض

أجزاء من المناطق الحارة الجافة (مثل مجرى نهر النيل فى مصر) خاصة إذا كانت مصادر أو منابع هذه المجارى تقع فى مناطق خارج نطاق الصحارى الحارة الجافة وتتميز بكثرة سقوط الأمطار فوقها.

وتعمل المجارى النهرية على نحت الصخور وتعريتها عن طريق ما يعرف باسم النحت الرأسى للأنهار *Vertical Erosion*، حيث تعمل المياه الممتزجة بالمفتتات الصخرية على حفر أرضية مجرى النهر وتعميقها، وتؤدى الى تكوين الحفر الوعائية *Pot holes* فى قاع مجرى النهر. وبمرور الوقت تتسع تلك الحفر وتلتحم مع بعضها البعض ومن ثم يزداد تعمق مجرى النهر فى الصخور، ويكون النهر لنفسه وادياً عميقاً يبدو على شكل حرف *V* ويتمثل عادة بالأجزاء العليا من أحواض المجارى النهرية، أو بمجرى النهر عندما يكون نشيطاً.

وتنقل المجارى النهرية المفتتات الصخرية والرواسب بطرق مختلفة يمكن أن تتلخص فى الآتى :

(أ) نقل المواد التى تحللت من الصخر وأصبحت مذابة فى المياه الى الأجزاء الدنيا من النهر. وتختلف عملية التحلل الكيميائى للصخر تبعاً لعوامل مختلفة من أهمها تنوع التكوين الصخرى وإختلاف درجة حرارة مياه المجرى النهر وشكل الدوامات والتيارات النهرية *Eddy Currents*.

(ب) تفتيت الصخور ميكانيكياً بفعل المياه ونقلها الى المناطق الدنيا من النهر.

(جـ) نحت جوانب النهر وقاعه عن طريق احتكاك الرواسب المنقولة مع النهر، وينجم عن ذلك إتساع أرضية قاع النهر من جهة وتكوين الحفر الوعائية *Pot Holes* بقاع النهر من جهة أخرى.

(د) نقل المفتتات الصخرية عن طريق جرها وتدحرجها على طول امتداد قاع مجرى النهر. وتؤدى هذه العملية الى تفتيت أطراف الكتل الصخرية وشطف حوافها وجوانبها، ومن ثم تصبح أصغر حجماً وتميل الى الشكل

المستدير أو البيضاوى.

(هـ) قد تنقل مياه النهر كذلك كميات هائلة من الرواسب الصغيرة الحجم القليلة الكثافة عن طريق التعلق بمياه النهر لخفة وزنها. ومثل هذه المواد الخفيفة الوزن الدقيقة الحجم جداً، كثيراً ما تنساب مع تيار النهر مسافات طويلة صوب الجزء الأدنى من النهر.

وتعمل المجارى النهرية على تكوين ظواهر تضاريسية مختلفة بفعل الإرساب النهرى. ويساعد النهر على إلقاء حمولته وارساب المواد التى ينقلها العوامل الآتية :

(أ) ضعف تيار النهر وقلة إنحداره.
(ب) جريان النهر فوق منطقة سهلية مستوية السطح، ضعيفة الانحدار.
(جـ) إلتقاء مجرى النهر بمجارى نهرية أخرى تؤدى الى تجمع الرواسب فى منطقة الإلتقاء النهرى.
(د) دخول النهر منطقة حوضية أو بحيرة ما، ومن ثم قد يعمل النهر على إرساب حمولته فى قاع البحيرة أو على شواطئها.
(هـ) ضعف قوة النحت الرأسى للنهر عندما يقترب منسوبه من مستوى سطح البحر الذى يصب فيه، ومن ثم يترنح مجراه من موقع الى آخر، ويرسب ما يحمله من مواد ومفتتات صخرية.

إختلاف المظهر الجيومورفولوجى العام لمجرى النهر وواديه

يعتبر الباحث وليم موريس دافيز أول من ميز بين المجارى النهرية المختلفة على أساس تطور نموها وذلك فى عام ١٨٩٢. فقد لاحظ دافيز بأن هناك أنهاراً نشيطة تعمل على تعميق وديانها بفعل النحت الرأسى كما هو الحال بالنسبة لخانق كلورادو العظيم، فى حين تتميز بعض الأنهار بضعف عمليات النحت الرأسى التى تقوم بها ومن ثم تخترق مناطق سهلية مستوية السطح كما

هو الحال بالنسبة للقسمين الأوسط والأدنى من نهر النيل والقسم الأدنى من المسيسبى. وعلى ذلك صنف دافيز الأنهار الى ثلاث مجموعات هى :

(أ) أنهار فى مرحلة الطفولة - أى بداية مراحل نمو النهر.
(ب) أنهار فى مرحلة الشباب - منتصف حياة النهر.
(جـ) أنهار فى مرحلة النضج - آخر مراحل دورة نمو النهر.

كما لاحظ دافيز بأن حوض النهر المثالى *Ideal Stream* ذاته يمكن أن يقسم الى تلك الأقسام السابقة تبعاً لتنوع الظواهر التضاريسية بكل قسم وإختلاف خصائص المجرى فيه. فأوضح دافيز بأن معظم الأحواض النهرية المثالية فى العالم يمكن أن تتمثل فيها كل من مرحلة الطفولة وخاصة بالقسم الأعلى من النهر ومرحلة الشباب فى القسم الأوسط من النهر، ومرحلة النضج فى القسم الأدنى من النهر. ولكن هناك بعض الأنهار الشاذة التى قد يظهر فيها مرحلة أو مرحلتان من هذه المراحل المختلفة كما هو الحال بالنسبة للأنهار الجبلية القصيرة التى تصب من منطقة المنابع الى البحر مباشرة.

ويتميز القسم الأعلى من حوض النهر (خاصة إذا كان فى مرحلة الطفولة) بأن مجراه سريع الجريان، شديد التيار، وتكثر فيه الجنادل والمساقط المائية. وتبدو جوانب النهر على شكل خوانق نهرية عميقة ذات جدران أو حوائط جانبية عالية. وتبعاً لإرتفاع منسوب الأجزاء العليا من النهر فى هذا القسم، ساعد ذلك على إستمرار نشاط التعرية النهرية وتوالى عمليات النحت الرأسى. وينجم عن ذلك سرعة تآكل صخور المنطقة التى يتمثل فيها القسم الأعلى للنهر، وزيادة سرعة تراجع النهر خلفياً نحو المنبع، ويعمل النهر فى هذا القسم من واديه على تفتيت الصخور ونقل تلك المفتتات والرواسب من مناطق المنابع العليا للنهر الى المنطقة السفلى منه.

أما فى القسم الأوسط من حوض النهر (خاصة إذا كان النهر فى مرحلة الشباب) فيتميز مجرى النهر بإعتدال تياره وانحداره وهدوء سرعة جريانه، كما تقل تبعاً لذلك درجة النحت الرأسى ذلك لأن منسوب النهر لا يكون على

ارتفاع كبير بالنسبة لمستوى سطح البحر- مستوى القاعدة العام - ويلاحظ أن جميع أنهار العالم لا تعمق مجاريها وفقاً لمنسوب واحد معين بل يعمل معظمها (خاصة الأنهار الرئيسة التى تصب فى البحار المفتوحة حسب مستوى القاعدة العام) فى حين ينحت بعضها الآخر مجاريها رأسياً تبعاً لمستوى القاعدة المحلى والذى قد يكون أكثر إرتفاعاً أو أقل إنخفاضاً عن مستوى القاعدة العام. وتبعاً لفعل كل من التعرية الرأسية الجانبية النهرية فى هذا القسم من حوض النهر، تتكون عدة ظواهر خاصة مميزة من بينها :

تكوين المجارى النهرية الرئيسة *Master Streams* :

عندما تلتحم بعض المجارى النهرية مع بعضها الآخر تكون أنهار رئيسة وفى مناطق تقسيم المياه التى تمثل الأراضى العالية المنسوب والتى تفصل بين حوضين نهريين مختلفين تنحدر المجارى العليا فيهما فى اتجاهين متضادين وقد يتغير خط تقسيم المياه الفاصل بين حوضين نهرين تبعاً لشدة النحت الرأسى والتراجع الخلفى لأحد النهرين عن النهر الآخر.

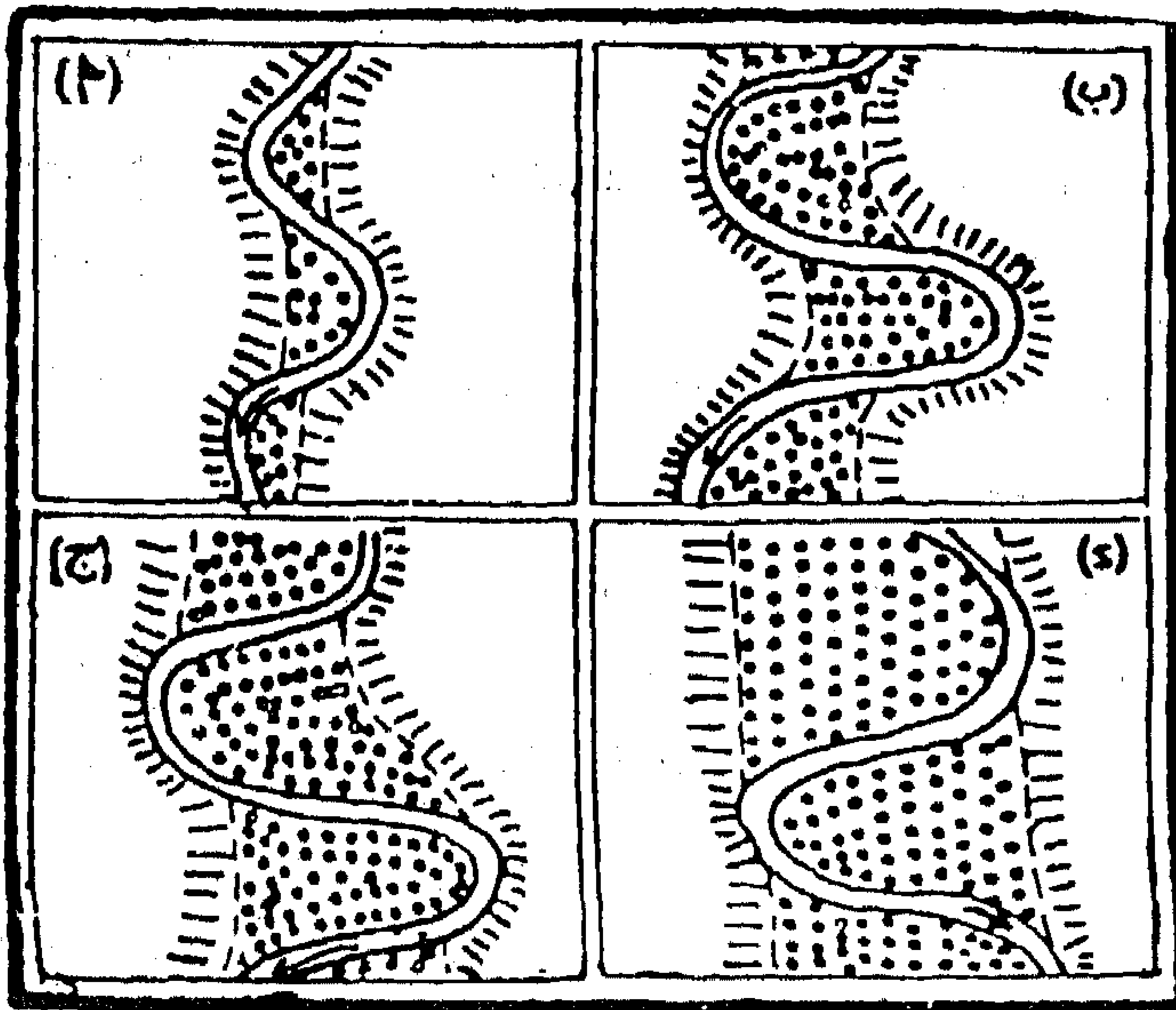
كما تظهر عمليات الأسر النهرى فى القسمين الأعلى والأوسط من حوض النهر وفى حالة كون مجرى النهر فى مرحلة الشباب ويطلق على النهر الأسر اسم *Capturing* والمأسور اسم *Captured or Diverted St.*، ويعمل النهر الآسر تبعاً لمستوى قاعدة أشد عمقاً من الأنهار الأخرى المجاورة له.

أما بالقسم الأدنى من حوض النهر وفى حالة كون النهر فى مرحلة الشيخوخة فيتميز مجرى النهر خلال هذه المرحلة ببطء إنحداره، وهدوء جريانه وضعف درجة النحت الرأسى لقرب منسوب النهر من مستوى القاعدة العام، ومن ثم يصبح الارساب من أهم العوامل التى يقوم بها النهر خلال تلك المرحلة، وتشكل الظواهر الناجمة عن فعل الارساب المظهر الجيومورفولوجى العام لوادى النهر فى قسمه الأدنى. ويتميز القطاع العرضى من مجرى النهر فى هذا القسم بإتساعه الملحوظ تبعاً لإتساع أرضية الوادى وسهولة الفيضية. ويترنح مجرى النهر من جانب الى آخر وتكثر فيه المنعطفات *Meanders*

(شكل ٤٧) التى تعمل بدورها على اتساع أرضية الوادى وتغطيتها بفرشات سمكية من الرواسب الفيضية. وقد تتكون فى القسم الأدنى من النهر الدلتاوات التى تتألف من الرواسب الفيضية المتجمعة فوق أرضية الخلجان والبحار الضحلة التى تصب فيها الأنهار، ثم تظهر هذه الرواسب على السطح على شكل دلتا مثلثة الشكل أو دلتا أصبعية (قدم الطائر) الشكل.

(٢) المياه الجوفية

لا يقتصر فعل المياه الجوفية على تشكيل جوف القشرة الأرضية فقط، بل تساهم كذلك فى نشوء ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة فوق سطحها. ويظهر أثر فعل المياه الجوفية فى المناطق التى تتألف من الصخور الجيرية والطباشيرية، حيث تعمل هذه المياه على تكوين عدة ظاهرات متنوعة منها الحفر المتعمقة، والمغارات والمنخفضات، هذا الى جانب عملها فى تكوين ظاهرات أخرى تنشأ فى جوف القشرة الصخرية ومنها الكهوف بمظاهرها



(شكل ٤٧) مراحل نمو المنعطفات النهرية وإتساع أرضية الوادى النهرى

وأشكالها المختلفة ومجارى الأنهار الجوفية أو المفقودة *Lost Streams*. ويمكن أن نقسم المياه الجوفية وفقاً لتنوع مصادرها وأماكن وجودها الى الأقسام الآتية :

١ - مياه جوفية عذبة، وقد يتمثل مصدرها فى مياه الأمطار الساقطة أو مياه الثلوج المنصهرة، وتعرف باسم «المياه الجوية *Meteoric Water*».

٢ - مياه جوفية ساخنة مصدرها حدوث الثورانات البركانية وتعرف باسم «مياه الصهير *Magmatic Water*».

٣ - مياه جوفية مالحة، وهى التى تغلغلت من مياه البحار والمحيطات الى اليابس المجاور. وتعرف باسم «المياه المحيطية *Oceanic Water*».

٤ - مياه جوفية عذبة أو مالحة قديمة مختزنة فى التكوينات الصخرية وتعرف باسم المياه الفطرية *Connate Water*.

٥ - مياه جوفية عذبة قد تتسرب من مياه المجارى النهرية عندما تشق الأخيرة صخوراً عالية المسامية ومنفذة للمياه، كما هو الحال بالنسبة للمياه الجوفية التى تتسرب من مجرى النيل الى منخفض وادى النطرون خاصة خلال وقت الفيضان.

وتبعاً لإختلاف مدى تشبع الطبقات الصخرية بالمياه الجوفية يمكن أن نميز ثلاث طبقات مختلفة هى :

(أ) **طبقة غير حاوية للمياه الجوفية** : وهى عبارة عن الطبقات الصخرية العديمة التشبع *Layer of Non - Saturation* وقد تكون هذه الطبقة غير مسامية لا تسمح بتسرب المياه فى جوفها وقد تكون عالية المسامية إلا أنه تبعاً لإنفاذها للمياه فإنها تساعد على تسرب المياه كلها خلال جزيئاتها دون أن تختزن المياه فيها، بل تستمر المياه الجوفية فى رحلتها صوب الأعماق البعيدة فى جوف صخور قشرة الأرض.

(ب) **طبقة متقطعة التشبع** *Layer of Intermittent Saturation* : وقد تقع هذه الطبقة أسفل الطبقة الصخرية السابقة، وتنحصر بين أعلى منسوب

يصل إليه مستوى المياه الجوفية عقب فترة إزدياد حجم المياه، وأدنى منسوب يهبط إليه عندما تقل كمية المياه فى جوف الصخر.

(جـ) **طبقة دائمة التشبع** : *Layer of Permanent Saturation* وهى عبارة عن خزان طبيعى للمياه الجوفية *Aquifer* تتجمع فيه المياه بعد رحلتها الطويلة خلال الطبقات، وتستقر فى هذا الخزان خاصة إذا كان قاعه يتألف من طبقة صخرية صماء تمنع تسرب المياه الى الطبقات الأخرى السفلية.

ولا يتحتم أن تتمثل هذه الطبقات الصخرية الثلاث السابقة فى كل حالة، بل إذا كان مستوى المياه الجوفية قريباً فقد لا تظهر الطبقة العليا غير الحاوية للمياه، وتتمثل هنا الطبقتان الأخيرتان. وفى بعض الأحيان تظهر الطبقة الدائمة التشبع على السطح مباشرة، وبذا يتميز هذا السطح بظهوره على شكل مستنقعات واسعة الامتداد.

ومن بين أهم هذه المظاهر أو الصوّر التى تبدو بها المياه الجوفية على سطح الأرض ما يلى :

(أ) الابار الارتوازية *Artesian Wells* :

ويقصد بها تلك الآبار العميقة التى يحفرها الإنسان فى الصخور للوصول الى المستوى الدائم للمياه الجوفية، ومن ثم تندفع المياه من أسفل الى أعلى طبيعياً (بواسطة الضغط الهيدروستاتيكى - نظرية الأوانى المستطرقة) الى أن تظهر فوق السطح. وعلى الرغم من أن هذه الآبار قد تدخل الإنسان فى صنعها إلا أن وجودها يرتبط عادة بالمياه الجوفية التى تتجمع فى خزانات الثنيات الصخرية المقعرة من ناحية، كما أنها تعتبر مظهراً من مظاهر المياه الجوفية على سطح الأرض من ناحية أخرى.

(ب) الينابيع *Springs* :

تتكون الينابيع عندما تنبثق المياه الجوفية من الطبقات الحاوية للمياه أو من

خزاناتها الجوفية انبثاقاً طبيعياً دون أن يكون للإنسان أى أثر فى ذلك. وقد تتركب مياه الينابيع من مياه معدنية خاصة إذا تجمعت فوق تكوينات صخرية من السهل إذابة بعض تكويناتها المعدنية. وتعمل المياه الجوفية خلال رحلتها الطويلة فى جوف قشرة الأرض على إذابة كثير من معادن الصخور، ومن ثم ترتفع نسبة المعادن فى المياه كما ترتفع كذلك نسبة الكالسيوم وتصبح مياه جيرية عسرة.

وتظهر الينابيع فوق سطح الأرض إذا ما تقطعت الطبقة الحاوية للمياه الجوفية بواسطة جوانب نهرية عميقة، كما قد تظهر الينابيع تحت أقدام الحافات الصخرية وعلى طول أسطح الصدوع (الانكسارات) أو عندما يعترضها سدود بركانية عرضية أو أفقية.

(جـ) النافورات والينابيع الحارة *Geysers and Hot Springs* :

دلت الدراسات المختلفة على أنه كلما كانت المياه الجوفية آتية من أعماق بعيدة ارتفعت درجة حرارتها، ويرجع ذلك الى ارتفاع درجة حرارة باطن الأرض فى الأعماق البعيدة عن السطح. ومن ثم يتبين بأن مياه الينابيع الحارة لابد وأن تكون قد تجمعت فى أعماق بعيدة من سطح الأرض أو فى خزانات جوفية ذات صخور ساخنة والماء الساخن أعلى قدرة من الماء البارد على إذابة المواد المعدنية التى تتألف منها الصخور من ناحية، كما أن غاز ثانى أكسيد الكربون الذى تكتسبه المياه الجوفية عادة من الغازات له قدرة كبيرة على إذابة بعض المواد المعدنية من ناحية أخرى.

هذا ويشتد فعل المياه الجوفية عندما تتغلغل فى صخور جيرية عالية المسامية وكبيرة السمك. وقد تنجح المياه فى توسيع فتحات الشقوق الصخرية تبعاً لتوالى عمليات التجوية الكيميائية، ومن ثم قد تتكون الحجرات والمغارات الجوفية. وإذا التحمت المغارات الجوفية بعضها بالبعض الآخر تتكون الكهوف الجيرية الكبيرة الحجم، وتتشكل أسقف الكهوف وجدرانها وأرضيتها بظواهر مختلفة تبعاً لفعل التجوية الكيميائية. ومن بين أهم تلك الظواهر الأعمدة

الصاعدة والأعمدة النازلة ومن أظهر أمثلتها تلك بمغارة جعيتا جنوب بلدة جونيه فى لبنان.

(٣) فعل الرياح
فى مناطق الصحارى الحارة الجافة

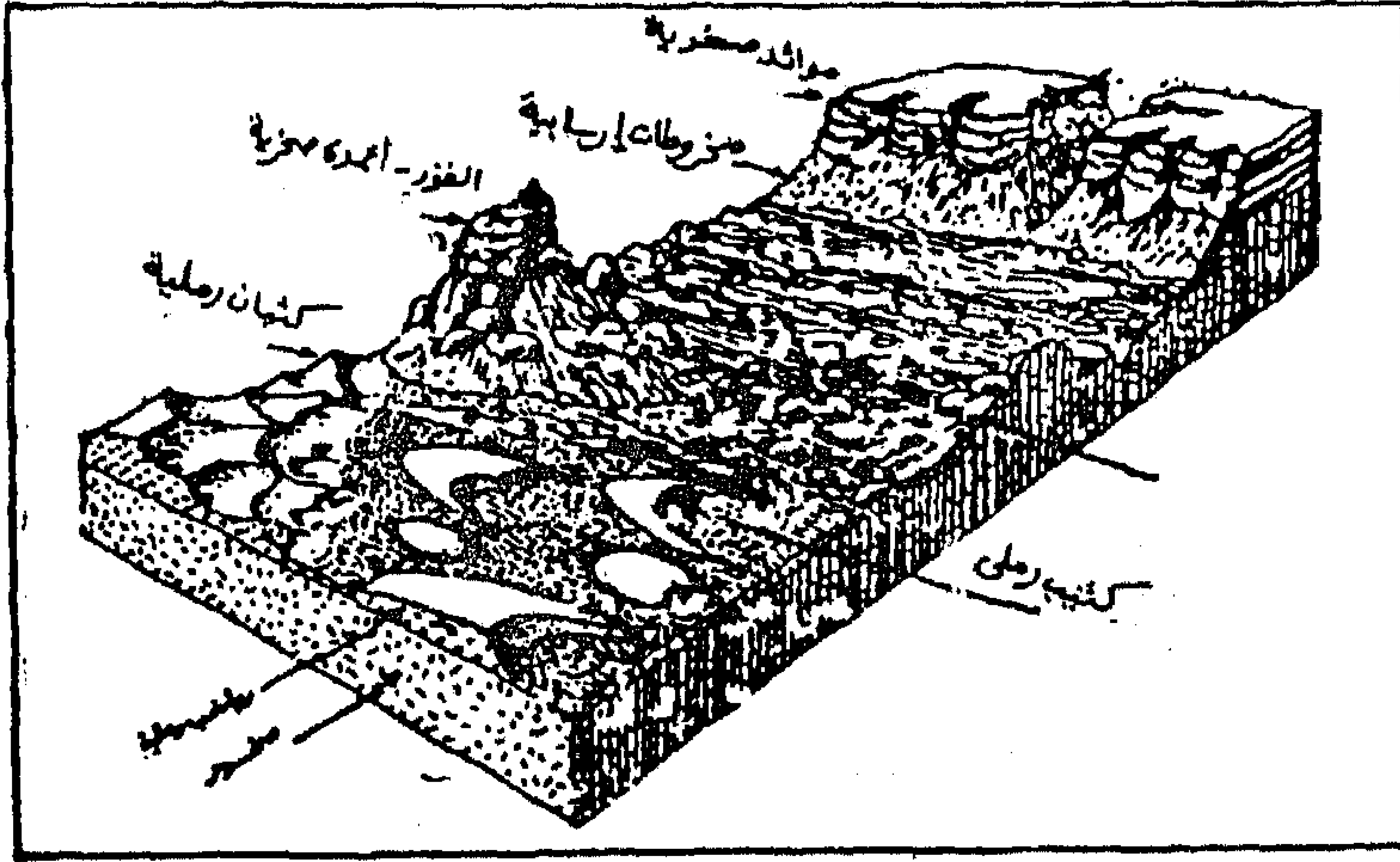
يعد فعل الرياح من أهم عوامل التعرية الدائمة الأثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لمعظم أجزاء سطح الأرض عامة، وبالمناطق الصحراوية الحارة الجافة خاصة، وذلك يرجع الى ندرة الغطاء النباتى من جهة وعدم تماسك الحبيبات الصخرية لسطح الصحراء من جهة أخرى. ومن ثم لا يعرقل فعل الرياح عوائق كبرى تحد من عملها. ومن ثم تعزى نشأة معظم الظواهر التضاريسية بمناطق الصحارى الحارة الجافة الى فعل الرياح كعامل هدم ونقل وارساب. ويشاهد الباحث فى الصحارى الحارة الجافة ظواهر تضاريسية متنوعة مثل الحافات الصخرية، والموائد الصخرية الصحراوية، والأعمدة الصحراوية، والكثبان الرملية (شكل ٤٨).

ويلاحظ أن حمولة الرياح من المفتتات الصخرية تختلف من حيث الشكل والحجم كذلك. وتبعاً لثقل المفتتات الصخرية الخشنة الكبيرة الحجم نسبياً تعد أول من يتعرض للسقوط والتراكم عندما تضعف قوة الرياح، وبذا لا تبعد كثيراً عن المصادر الأصلية التى اشتقت منها، أما حبيبات الأتربة والرمال الدقيقة الحجم جداً فهذه تبقى مدة طويلة معلقة فى الجو وتحمل مع الرياح لمسافات بعيدة عن المصادر التى اشتقت منها.

أولاً : أهم الظواهر التضاريسية الناتجة تبعاً لأثر فعل الرياح كعامل نحت أو هدم :

يمكن القول أن فعل الرياح كعامل هدم ينحصر فى نقطتين هما :

أ - حمل الرياح ذرات الرمال والمفتتات الصخرية ونقلها من مصادرها



(شكل ٤٨) أثر فعل الرياح كعامل نحت ونقل وارساب فى تشكيل بعض الظواهر التضاريسية بالصحارى الحارة الجافة

الأصلية الى مناطق أخرى بعيدة تبعاً لسرعة الرياح ومدى قدرتها على حمل المفتتات ويلاحظ أن قدرة الرياح على نقل المفتتات الصخرية تزداد عندما يشتد الجفاف ويندر وجود الغطاءات النباتية وتعرف هذه العملية باسم (هبوب الرياح) *Deflation*.

ب - أثناء هبوب الرياح المحملة بالرمال واصطدامها بالحافات الصخرية وبما يصادفها من عوائق جبلية تعمل الرياح بما تحمله من رواسب على برى وتعرية الصخور تدريجياً. ويلاحظ أن فعل النحت أو الهدم يشتد فى الأجزاء السفلى من الحافات الصخرية وذلك ليس فقط بسبب ليونة الصخر ورخاوته فى الأجزاء السفلى منه ولكن كذلك تبعاً لزيادة حمولة الرياح من ذرات الرمال وحبيبات الصخر المفتتة خاصة فى الأجزاء السفلية منها والتى تقترب من سطح الأرض،. وعند اصطدام هذه الرمال واحتكاكها بقوة فى الصخر ينتج عن ذلك تكوين مناطق ضعف

جيولوجية فى الصخور مما قد يعمل فى النهاية على تعريتها وتآكلها بالتدريج. وتعرف هذه العملية باسم فعل كشط أو برى الرياح *Wind Abrasion* ويمكن أن نلخص أثر فعل احتكاك الرياح فى تكوين بعض ظاهرات السطح فى المناطق الصحراوية فيما يلى :

١ - تكوين الأسطح الصخرية المصقولة *Polished Surface* خاصة فى الطبقات الجيرية نتيجة لتوالى احتكاك الرياح بأسطح هذه الطبقات. فتعمل الرياح المحملة بالرمال على اكتشاف مناطق الضعف الجيولوجى فى الصخر. ومن ثم تحفر أو تعمق الأجزاء اللينة من أسطح الصخر حتى يتكو عليه حذوذ أو خنادق طولية يتراوح عمق كل منها نحو بضعة سنتيمترات وتتبع نفس الاتجاه الذى تهب منه الرياح.

٢ - يتشكل الحصى فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة تبعاً لاحتكاكه بالرياح المحملة بالرمال ولذا يبدو مصقولاً أملس السطح. ويطلق على عملية تشكيل الحبيبات الصخرية بواسطة الرياح اسم *Ventifact* (١)، كما تعمل الرياح كذلك على كشط الأجزاء المحدبة من الحبيبات الصخرية التى تواجه اتجاه هبوب الرياح، وقد يكشط الحصى من عدة أوجه إذا تقلب وتعرض عدة مرات متوالية لفعل احتكاك الرياح به. وعلى ذلك تبدو الحبيبات الصخرية، طويلة الشكل وكثيراً ما تشبه اللوز البرازيلى *Brasil Nuts*. ويطلق على الحصى والحصباء فى هذه الحالة تعبير *Wind-worn Pebble*، أما إذا ظهرت الحبيبات الصخرية على شكل هرمى فيطلق عليها بالألمانية اسم *Dreikanters*.

٣ - تبعاً لإحتكاك الرياح المحملة بالرمال بأسطح الصخور المختلفة التكوين الجيولوجى أو بمعنى آخر تلك التى تتكون من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صخور لينة، فقد ينتج عدة ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة

---

(١) المعنى الحرفى لتعبير Ventifact هو «عمل بواسطة الرياح» Made by Wind .

تشكل المظهر العام لسطح الصحراء. فبواسطة فعل احتكاك الرياح بالصخر وبريه تتسع جوانب الأودية الصحراوية وفى مراحل متعاقبة قد تتكون كل من الموائد الصخرية *Mesa* والأعمدة الصحراوية والشواهد الصخرية أو قصور البنات *Buttee* (شكل ٤٩) والقور والقويرات الهضبية والتلال والأنياب الجبلية.

٤ - وفى المناطق التى تتألف من طبقات صخرية أفقية صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة، قد ينتج عن احتكاك الرياح فى الصخور السفلى اللينة تكوين تجويفات جانبية فى الصخور. وتبعاً لاستمرار تآكل الصخور اللينة تتبقى أجزاء من الصخور الصلبة العلوية على شكل رأس المطرقة، وتعرف هذه الظاهرة باسم زوجين *Zeugen*.

أما إذا تميزت الظاهرة السابقة بتنوع أشكال الغطاءات الصلبة تبعاً لشدة



(شكل ٤٩) تكوين الأعمدة الصحراوية تبعاً لفعل إحتكاك الرياح المحملة بالرمال فى صخور مختلفة الصلابة

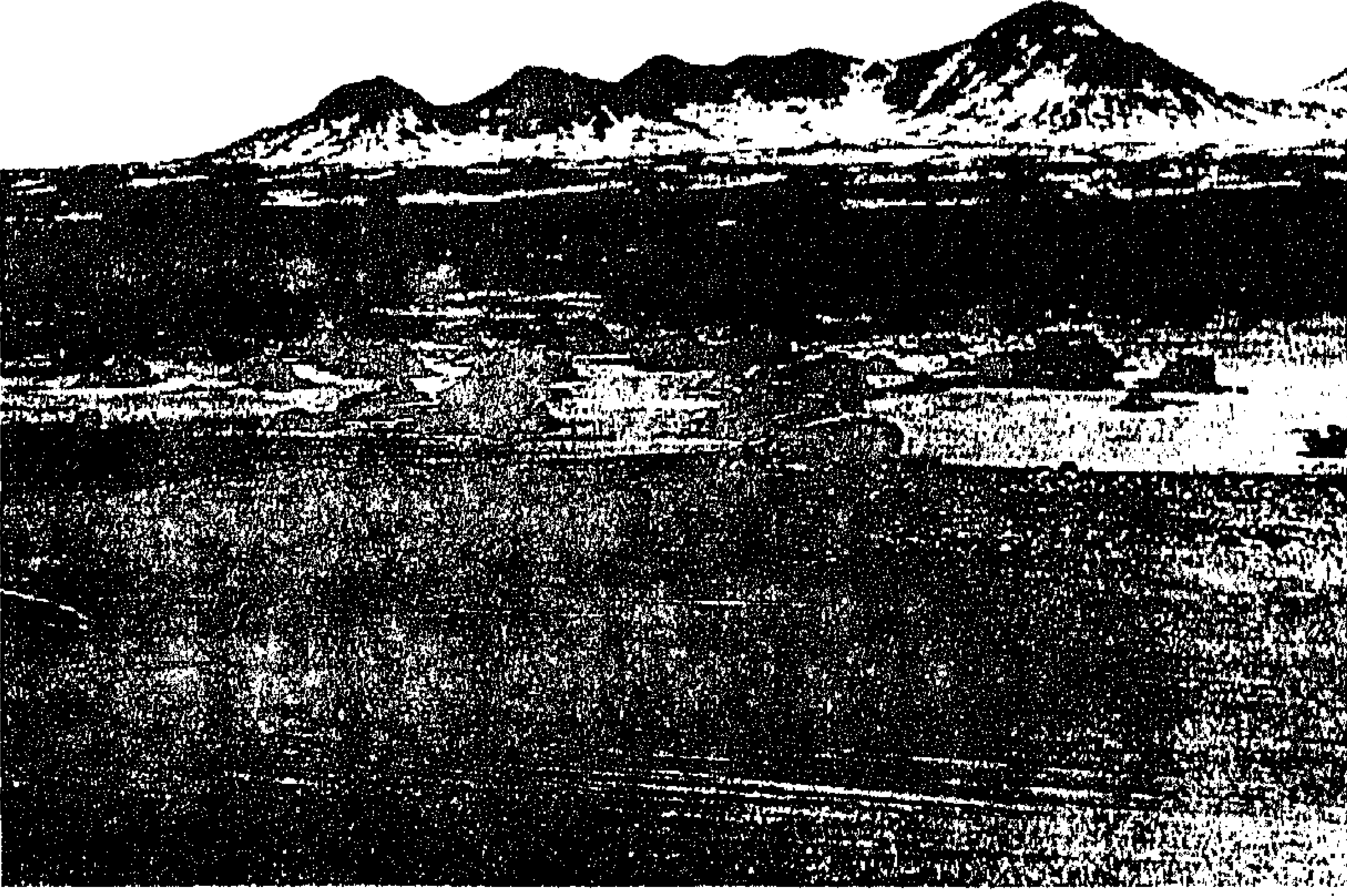
فعل برى الرياح فيها من جهة وتآكل الصخور اللينة السفلى بسرعة من جهة أخرى، قد تتكون الظاهرة المعروفة باسم «الياردانج *Yardangs*» (١) التى تشبه ضلوع الحيوان ويتراوح ارتفاعها من ٣٠ الى ١٢٠ قدم فوق سطح الأرض المجاور، وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة خوانق هوائية عميقة تحفر فى الصخور اللينة وقد تتعرض هذه الخوانق الأخيرة للإمتلاء التدريجى بفعل تراكم المفتتات الصخرية التى تتساقط من الجوانب الصخرية المجاورة (شكل ٥٠) (٢).

٥ – تبعاً لإختلاف التكوين الصخرى فى الطبقات التى تتعرض لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال، فلا يتساوى مدى فعل الرياح على طول كل جزء من أسطح الصخور، بل تتجوف وتتعمق الأجزاء الرخوة اللينة من الصخور وتبدو على شكل حفر أو ثقوب فى الصخور (النوافذ الصخرية) بينما تبقى أجزاء الصخر الصلبة على شكل فواصل وأعمدة تفصل بين



(شكل ٥٠ – أ) أشكال ظاهرات الزوجين. والياردانج، والأعمدة الصحراوية (قصور البنات) فى الصحارى الحارة الجافة

(١) أول من استخدم تعبير الياردانج هو الأستاذ بلاك ويلدر فى مقال سنة ١٩٣٤.
Blackwelder, E., A Yardangs S. Geol. Soc. Amer. Bull., 45 (1934) 195 - 196.
وقد شاع استخدام هذا التعبير السابق فى الدراسات الجيومورفولوجية منذ ذلك الحين.
(2) Wooldridge S. W., and Morgan. R. S., An Oultine of geomorphlogy., London (1960), p. 274.



(شكل ٥٠ – ب) أشكال ظاهرات الزوجين فى الواحة البحرية ـ مصر



(شكل ٥٠ – جـ) أشكال من ظاهرات اليارادنج فى واحة الفرافرة
فى الصخور الجيرية الباليوسينية ـ مصر

هذه التجويفات. وتعرف هذه الظاهرة باسم «ثقوب أو كهوف الرياح *Wind Caves*» ومن أجمل أمثلتها فى جمهورية مصر العربية ثقوب الرياح التى تتكون فى الصخور الرملية عند رأس الدب بالصحراء الشرقية قرب خليج السويس.

٦ - من بين أهم نتائج فعل برى الرياح فى الصحارى المصرية كذلك هو تكوين المنخفضات الصحراوية *Depression* والتى يطلق عليها اسم «الواحات» ومنها منخفضات الخارجة والداخلة والفرافرة والبحرية وسيوه والقطاره فى الصحراء الغربية لجمهورية مصر العربية. ومن أظهر أصحاب نشأة هذه المنخفضات الصحراوية بفعل احتكاك الرياح فى الصخور اللينة الأستاذ بيدنل *Beadnell* وذلك من نتائج دراسته للواحة الداخلة فى عام ١٩٠١ والفرافرة فى عام ١٩٠١ والخارجة فى عام ١٩٠٩. ويسهم عمل برى الرياح فى الصحارى فى تكوين المنخفضات الصغيرة الحجم والقيعان والروضات والخبروات.

ثانياً : أهم الظواهر التضاريسية الناتجة عن أثر فعل الرياح كعامل ارساب أو بناء :

تتشابه الرياح مع المياه الجارية فى أنها قد تفقد سرعتها بالتدريج أو فجائياً، وينجم عن ذلك عرقلة أو إيقاف تأثيرها كعامل نقل ونحت ثم فتح المجال لإرساب حمولتها من المفتتات الصخرية المختلفة على شكل ظاهرات جيومرفولوجية متنوعة. وقد تكون بعض الظاهرات غير ثابتة بحيث أنها تتلاشى ثانية بمجرد هبوب رياح شديدة مرة ثانية، بينما يمثل بعضها الآخر ظاهرات ثابتة تبعاً لكبر حجمها من جهة وتثبيت جذورها فى الأرض بواسطة انضغاطها أو تماسك أجزائها بفعل المياه أو الحشائش التى قد تنبت فيها من جهة أخرى. ومن بين أهم الظواهر الرئيسة الناجمة عن فعل ارساب حمولة الرياح هى الكثبان الرملية *Sand Dunes* بأشكالها المختلفة والعروق الرملية والدكداك والأكوام الرملية (الأنقاء) والأبارق (الرمال المختلطة مع رواسب

أخرى) .

ويطلق لفظ «كثيب» على التلال الرملية التى يختلف ارتفاعها من بضعة أقدام الى عشرات من الأمتار وتتكون أساساً من رمال مستديرة الحبيبات . وقد يكون العامل المساعد فى بداية تكوين الكثيب هو تعرض الرياح لحاجز أو مانع فى طريق اتجاهها وذلك مثل تل أو شجرة أو بناء ما ، أو الى تدنى سرعة الرياح وعدم قدرتها على نقل ما تحمله من رواسب أما إذا تميزت الرياح بشدة سرعتها وقدرتها على نقل كميات كبيرة من الرمال ثم تتوقف حركتها فجأة ، فقد تتكون كثبان رملية هائلة الحجم يتراوح ارتفاعها من ٢٠٠ الى ٥٠٠ قدم كما هو الحال فى بعض أجزاء من الصحراء الكبرى فى أفريقيا وصحراء كلورادو فى أمريكا الشمالية . ولكن معظم هذه الكثبان - حتى الكبرى منها - معرضة للتزحزح بفعل حركة الرياح ، وهناك ملاحظة أخرى تجدر الاشارة إليها وهى أنه يجب أن لا تتخيل بأن سطح الصحراء يتكون من سهول رملية أو كثبان رملية فقط ، بل هو فى الحقيقة يتشكل بظاهرات جيومورفولوجية أخرى مختلفة ومن بينها الأرصفة الصحراوية والصحارى الحصوية والصخرية والمنخفضات والجبال ، وقد تبين أن نسبة الغطاءات الرملية فى صحراء شبه الجزيرة العربية لا تزيد عن ثلث مساحتها الكلية بينما تبلغ مساحة الغطاءات والكثبان الرملية فى الصحراء الكبرى نحو ١٠ ٪ من مساحتها الكلية .

٤ - فعـــل البحـــــر

كل «شواطىء» (١) البحر وسواحله الحالية ما هى إلا نتاج التطور الذى حدث ومازال يحدث نتيجة لتقدم البحر وتقهقره عن الأرض المجاورة له. فيؤدى ارتفاع مستوى سطح البحر أو إنخفاض الأرض الى إنغمار أجزاء واسعة من ظاهرات سطح الأرض والتى تكون قد نشأت أصلاً بفعل عوامل التعرية الهوائية الأخرى. وانغمار الأرض تحت مياه البحر بهذا الشكل قد يساعد على تكوين «سواحل» (٢) بحرية أهم ما يميز مظهرها الجيومورفولوجى العام هو تشكيلها بواسطة الخلجان *Bays* والمضايق البحرية *Estuaries* والفيوردات *Fjords* والمعابر الأرضية *Straits* وقد يفصل بين هذه الظاهرات المختلفة أشباه الجزر الأرضية وعلى طول السواحل السهلية الانخفاضية *Coasts of Submergence* قد تنشأ كذلك خلجان واسعة الامتداد مثل خليج أستراليا الكبير فى جنوب استراليا وخليج هدسن فى شمال قارة أمريكا الشمالية، أما إذا إنخفض منسوب سطح البحر أو ارتفع سطح اليابس والرفارف القارية *Continental Shelves* المجاورة أو كليهما معاً، فينجم عن هذه العملية تقهقر أو تراجع البحر خلفياً، وتظهر بالتالى أراضى جديدة تضاف الى اليابس كانت تمثل من قبل أجزاء من قاع البحر، وكثيراً ما تتغطى هذه الأراضى الجديدة (خاصة إذا كانت حديثة العمر الجيولوجى) بكميات هائلة من الرواسب البحرية ويطلق عليها تعبير السواحل البحرية المرتفعة *Coasts of Emergence* والمدرجات البحرية *Marine Terracces*.

---

(١) يقصد بتعبير «شاطئ البحر Coast»، تلك الأراضى التى تمتد وراء الجروف البحرية Marine cliffs التى تشرف على الساحل. ويعتبر منسوبها فى معظم الأحيان أعلى من مستوى خط الساحل المجاور.

(٢) يقصد بتعبير «سواحل البحر Shores»، مناطق مياه البحر تبعاً لتأثير فعل المد والجزر تعرف باسم السواحل الأمامية Fore shores بينما تلك التى تمتد فيما وراء هذه المناطق السابقة وتنحصر بينها من جهة وبين الجروف البحرية من جهة أخرى فيطلق عليها تعبير السواحل الخلفية Back Shores.

وإلى جانب العوامل المختلفة التى تؤدى الى نشأة السواحل البحرية، يلاحظ أن الظواهر الجيومورفولوجية الساحلية ، تتنوع من حيث الشكل والحجم والتوزيع الجغرافى تبعاً لما يأتى :

أ - تأثير فعل كل من الأمواج وتيارات المد والجزر.

ب - شكل الساحل وامتداده وتكوينه وتركيبه الصخرى.

ويعتبر عامل اختلاف التكوين الصخرى *Lithological Variation* من بين أهم العوامل التى تشكل المظهر الجيومورفولوجى العام لخط الساحل. فإذا كانت الجروف البحرية التى تشرف على خط الساحل تتألف من طبقات صخرية صلبة متراكبة فوق طبقات صخرية لينة، وأنها تمزقت وتشققت بفعل الشقوق الكثيفة *Heavily Cracked* فتتآكل الصخور اللينة بسرعة بفعل تكسر الأمواج وتلاطمها، وسرعان ما تنزلق الكتل الصخرية أو تنهار وتتساقط من أعالى الجروف البحرية لتتقدم الى البحر رواسب قارية جديدة تتجمع فوق أرضية قاعه. ويشتد فعل التعرية وتتآكل الجروف البحرية بسرعة إذا كانت المادة اللاحمة لصخور هذه الجروف ضعيفة التماسك، كما هو الحال فى معظم أجزاء سواحل كل من شرق إنجلترا ومقاطعتى سسكس *Sussex* وهامبشير *Hampshire* . فعندما تتعرض جروف هذه السواحل لفعل التعرية البحرية تنهار صخورها بسرعة ذلك لأنها تتألف من صخور جيرية بلايوسينية لينة غير متماسكة .

وعندما تتكون الجروف البحرية من طبقات صخرية غير متجانسة ومختلفة الصلابة، سرعان ما تعمل الأمواج على نحت الصخور اللينة، ومن ثم تكتشف مناطق الضعف الجيولوجى فيها، وبمرور الزمن تتسع هذه الفتحات وتتكون ظواهر خاصة مثل الفجوات البحرية والكهوف البحرية (١) .

---

(1) Streers, J. A., "The sea Coast", London, (1953).

ب - حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» - مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - الطبعة الحادية عشرة (١٩٩٥).

وقد تعمل الأمواج على استمرار تآكل الصخور اللينة، ومن ثم يختل توازن الصخور العليا الصلبة وتتعرض للسقوط والانزلاق، وإذا تصادف أن تكونت فجوتان فى اتجاهين متضادين، فقد تعمل الأمواج على التحامهما ببعضها البعض، وتتكون ظاهرة الجسر أو القوس البحرى *Arch or Sea Bridge* أما إذا إختل توازن أسقف القوس البحرى وانهارت صخوره، تنفصل ألسنة الجروف الصخرية، وتتكون المسلات البحرية *Sea Stacks*.

أما إذا كانت صخور الجروف البحرية تتميز بصلابتها وعدم مساميتها، وأن المادة اللاحمة لجزيئات هذه الصخور شديدة التماسك، فإنه يقل بالتالى أثر فعل الأمواج فى تعرية صخور الساحل. ولكن مع هذا يستمر فعل التعرية بل ويظهر واضحاً على طول مناطق الضعف الجيولوجى التى تتمثل عادة فى فتحات الشقوق وأسطح الصدوع، وبمرور الزمن تتسع هذه الفتحات بفعل التعرية البحرية وتكون فجوات داخلية عميقة فى جوف الصخر.

٥ - فعل الجليد

تتأثر مناطق سطح الأرض التى غطيت بالتكوينات الجليدية لفترة طويلة من الزمن بظاهرات خاصة ذات شخصية جيومورفولوجية مميزة. وقد كان فعل الجليد خلال فترات عصر البلايوستوسين (العصر الجليدى فى العروض المعتدلة والباردة) أكثر وضوحاً وأوسع مجالاً عن فعل جليد اليوم، الذى يشكل سطح الأرض فى المناطق القطبية والمناطق الجبلية العالية والتى تقع فى مستوى خط الثلج الدائم. وتتنوع الظواهر التضاريسية الجليدية ليس فقط تبعاً لإختلاف التركيب الجيولوجى بل كذلك وفقاً لأشكال التكوينات الجليدية التى أدت الى تكوينها، وتتلخص أهم أشكال الجليد فيما يلى :

أ - الغطاءات الجليدية : *Ice Sheets* وتتكون تبعاً لتراكم الثلج المتساقط أو بواسطة تجمع الثلج المنحدر من القمم الجبلية على شكل فرشات واسعة الامتداد تنتشر فوق المناطق السهلية. وإذا كان تساقط الثلج غزيراً وظلت درجة الحرارة دون نقطة التجمد لفترات طويلة من الزمن فلا يتعرض

الثلج كثيراً للإنصهار بل ينجم عن تجمعه فى هذه الحالة تكوين كتل جليدية تتحرك بدورها فوق سطح الأرض على شكل غطاءات واسعة الامتداد. وتعد كل من جرينلند وانتارتيكا المناطق الرئيسة التى لا تزال مغطاة بغطاءات جليدية قارية هائلة الحجم فى الوقت الحاضر.

ب – الثلاجات أو الأنهار الجليدية : *Glaciers* وهذه عبارة عن كتل من الجليد تنحدر من الحقول الثلجية وتتجه الى المنحدرات السفلى بمساعدة فعل الجاذبية. وتكاد تتمثل حقول الثلج الدائمة فى مناطق متفرقة بجميع القارات فيما عدا استراليا. ويطلق على هذا المستوى الدائم والذى لا يتعرض الثلج فيه لفعل الانصهار تعبير مستوى الثلج الدائم *Snow line*. ويختلف ارتفاع هذا المستوى من منطقة الى أخرى، حيث يقع فى المناطق القطبية على ارتفاع ٢٠٠ قدم فى حين يظهر فى جبال الألب على ارتفاع ١٣٠٠٠ قدم وفى الهيملايا على ارتفاع ١٨٠٠٠ قدم.

وتنحدر الثلاجات أو الأنهار الجليدية من مصادرها الأولى فى المناطق المرتفعة ببطء شديد على شكل لسان جليدى يستمد مصدره وقوته من الثلج المتراكم فى الحقول الثلجية *Ferns* ومن ثم يتعرض النهر الجليدى للانصهار والتبخر فى الصيف بينما يتقدم الجليد خلال فصل الشتاء ببطء.

وقد تقع مقدمة النهر الجليدى تحت منسوب خط الثلج الدائم والحقول الثلجية بنحو بضعة آلاف من الأقدام. وحيث تتعرض الأنهار الجليدية بالمناطق القطبية فى الوقت الحاضر لفعل التبخر والانصهار فإن مقدمات النهر الجليدى فى تقلص وانكماش وتراجع تدريجى صوب منابعها العليا. وإذا انسابت الأنهار الجليدية من اليابس وانتهى بها المطاف الى البحر أو المحيط المجاور تندفع كتل الجليد الى البحر وتظهر التكوينات الجليدية على شكل جبال ثلجية طافية *Ice Bergs* تحركها الأمواج وتدفعها التيارات البحرية من مسطح مائى الى آخر فى قلب المحيط. ومن المعروف أن نحو ٠,٩ من حجم هذه الجبال تكون غاسطة فى المياه بينما يظهر القسم الباقى من حجمها طافياً فوق

سطح مياه البحر، ومن ثم تعد الجبال الثلجية الطافية خطراً كبيراً على الملاحة البحرية.

الظواهر التى تشكل سطح الأنهار الجليدية (الثلاجات) *Glaciers*:

يتميز سطح الأنهار الجليدية بأنه ليس سطحاً أملساً مستوياً، بل يختلف من جزء الى آخر من حيث لشكل والانحدار والظاهرات العامة التى تتكون فوقه. فإذا تجمع الجليد فى واد نهرى سابق، أو انحصر بين جوانب جبلية عالية، ينحصر النهر الجليدى فى هذه الحالة فى وادى محدد الجوانب، ولكن عندما ينساب الجليد من واد متسع الى آخر أقل إتساعاً، سرعان ما يتجمع فوق بعضه البعض ويزداد سمكاً، ويتشكل سطحه المموج بواسطة تجعدات وتجاويف وشقوق مختلفة، أما إذا تقدم الجليد من واديه الى أراضى منبسطة سهلية يقل سمكه ويتسع امتداده ويتشكل سطحه بفتحات وشقوق عميقة متشابكة تعرف باسم شقوق الجليد *Crevasses* وتبعاً لتراكم الجليد فى القسم الأوسط من مجرى النهر الجليدى فإن هذا القسم يتقدم بسرعة أكبر من تقدم أطراف جانبى المجرى الجيلدى.

وتختلف مقدار التعرية الجليدية تبعاً لإختلاف الموقع الجغرافى للإقليم ومدى تضرسه، وتعد المناطق المرتفعة التى ينحدر منها الجليد من المناطق التى يشتد فيها فعل التعرية الشديدة، وتتعرض المناطق السهلية المنخفضة التى تقع تحت أقدام الحافات الجبلية لكل من فعل التعرية والارساب، فى حين تتشكل المناطق الحدية أو النهائية من الغطاءات الجليدية بفعل الارساب. وفى كل من هذه الأقاليم الجيومورفولوجية الثلاثة (الجبلية المرتفعة، والسهلية والحدية) يتشكل التصريف النهرى فيها بفعل المياه المنصهرة من الجليد.

أولاً : بعض الظاهرات الجليدية فى المناطق الجبلية المرتفعة : ***Glaciated highlands***

قد يغطى الجليد معظم الأراضى المرتفعة فى المناطق القطبية فيما عدا قمم الجبال العالية الشديدة الإنحدار التى تظهر عادة بارزة فوق سطح الجليد، ومن

ثم تتعرض هذه المناطق الأخيرة لتأثير فعل تجمد المياه وانصهارها *Freeze and Thaw Action* وينجم عن هذه العملية اتساع فتحات شقوق الصخر بالتدريج وتكوين مناطق ضعف جيولوجية تؤدى الى تساقط الصخور وانزلاق الأرض. أما فى المناطق التى تقع أسفل القمم الجبلية والتى تتغطى بالجليد طوال السنة فإن تأثير حدوث فعل تجمد المياه وانصهارها فى جوف الصخر يكون محدوداً.

وتعد ظاهرة الحلبات الجليدية *Corries* من بين أهم الظواهر التى ترمز الى حدوث فعل التعرية الجليدية فى المناطق الجبلية. وتعرف هذه الظاهرة أيضاً باسم *Cums or Criques* وتبدو على شكل ظهر الكرسى المستدير *Armchair* حيث أنها تتركب من ظهر شديد الانحدار، وسفح أمامى بسيط الانحدار وقد يشغل قاع الحلبات الجليدية بعض البحيرات الصغيرة الضحلة التى تنشأ بفعل انصهار الجليد وانحباس المياه فيها بواسطة الركامات والارسابات الجليدية. ويوضح (شكل ٥١) نماذج للحلبات الجليدية.

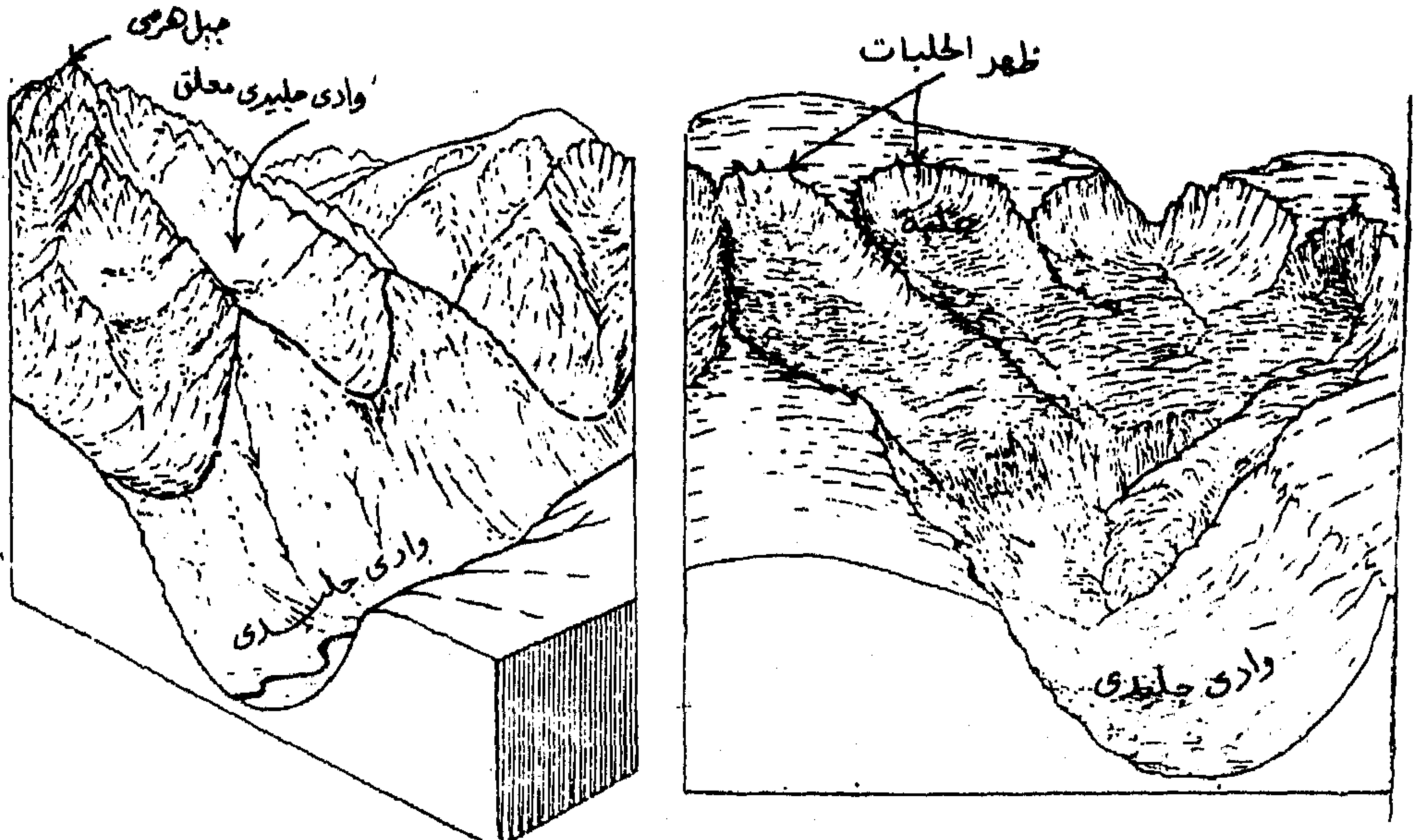


(شكل ٥١) الوادى الجليدى وبعض الحلبات الجليدية فى ألسكا

الأودية الجليدية Glaciers :

يتعرض الجليد تبعاً لإنسيابه البطيء بمساعدة فعل الجاذبية الأرضية للتقدم التدريجي صوب المنحدرات السفلى والأراضي المنخفضة، ولذلك قد يكّون الجليد لنفسه أودية محددة الجوانب يتحرك فوق أرضيتها ويحتك بصخور جوانبها ويقشطها ويعمل على تعميق هذه الأودية، وتعرف الأخيرة باسم «الأودية الجليدية» أو الثلاجات (شكل ٥٢).

وأهم ما يميز القطاع العرضي للوادى الجليدى ظهوره على شكل حرف *(U)* بخلاف الأودية النهرية التى تبدو قطاعاتها العرضية ـ خاصة أثناء المراحل الأولى من نشأتها ـ على شكل حرف *(V)*. أما الأودية الفرعية للنهر أو الوادى الجليدى الرئيسى فهذه تظهر غالباً على شكل أودية جليدية معلقة *Hanging Valleys* حيث لا يصل مستوى قاعها الى المستوى الذى وصل إليه الوادى الرئيسى. وقد يتشكل قاع الأودية الجليدية بعدة ظاهرات



(شكل ٥٢) الشكل العام للوادى الجليدى وأوديته المعلقة

جيومورفولوجية تختلف من مكان الى آخر تبعاً لظروف متعددة. ومن بين أهم هذه الظاهرات تلك المعروفة باسم الأحواض المغلقة *Enclosed Basins* والمدرجات الجليدية *Glacial Terraces* والصخور الغنمية *Roches Moutonnes* ويتميز مجرى النهر الجليدى بكونه قليل المنعطفات، بل يمتد عادة امتداداً طولياً. وفى اتجاه مستقيم، بخلاف الحال مثلاً بالنسبة للمجارى النهرية ذات المنعطفات المتعددة.

وتعد كل هذه الظاهرات السابقة الذكر والتى تشكل المظهر الجيومورفولوجى العام للوادى الجليدى (الامتداد الطولى للمجرى الجليدى والألسنة المقشوطة *Truncated Spurs* والأودية الفرعية المعلقة وشكل جوانب الوادى وشدة انحدارها) نتاج كل من النحت الرأسى والجانبى للجليد. فالألسنة الأرضية المقشوطة مثلاً كانت فى بداية نشأتها أراضى مرتفعة بين أودية نهرية صغيرة، ثم تعرضت للاحتكاك بجوانب النهر الجليدى الذى عمل على نحت بروزاتها وألسنتها المتداخلة *Interlocking Spurs*.

ثانياً : بعض الظاهرات الجليدية على طول السواحل الجبلية : ***Glaciated High Coasts***

إذا تراكم الجليد أو تجمعت غطاءاته على طول السواحل الجبلية المرتفعة فإن أهم ما ينجم عنه فى هذه الحالة تكوين الظاهرات المعروفة باسم الفيوردات التى هى عبارة عن أودية نهرية جليدية غاطسة تحت سطح البحر. وقد تبين من الدراسات التى أجريت فى قاع الفيوردات أن أعماق المياه فيها تعد أكبر عمقاً بالقرب من خط الساحل فى حين تبدو أرضية الفيورد ضحلة نسبياً عند مدخله داخل البحر، وإن دل هذا على شىء فإنما يدل على شدة فعل النحت الرأسى الجليدى الشديد (بفعل احتكاك جبال الثلج الطافية) بجوار خط الساحل. ومن المعروف كذلك أن عمق المياه فى الفيوردات أكبر بكثير من التذبذب الرأسى الذى طرأ على مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين. فيبلغ متوسط عمق المياه فى فيورد سوجن *Sognefjord* فى

النرويج نحو ٤٠٠٠ قدم، ومتوسط عمق المياه عند مدخله نحو ٦٠٠ قدم. فى حين لم يزد التذبذب الرأسى فى منسوب البحر منذ عصر البلايوستوسين حتى الوقت الحاضر عن ٤٠٠ قدم. وعلى ذلك يمكن القول بأن ارتفاع منسوب سطح البحر منذ نهاية البلايوستوسين (تبعاً لإنصهار الجليد) ليس له تأثيراً كبيراً فى نشوء الفيوردات بالمناطق الجبلية الساحلية الجليدية.

ثالثاً : بعض الظاهرات الجليدية فى المناطق السهلية :

Glaciated Lowland

عندما تنحدر الأنهار الجليدية من المناطق المرتفعة الى السهول المنخفضة يتسع سطح الجليد ويزداد امتداده ويقل سمكه، ويبدو على شكل غطاء جليدى أو فرشات جليدية واسعة الامتداد. وتعمل هذه الغطاءات الجليدية على تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة يتركز الكثير منها فى الأراضى المنخفضة المنسوب، وترجع نشأة معظمها الى فعل الإرساب الجليدى. وتنقل هذه الغطاءات الجلاميد والمفتتات الصخرية وترسبها بصور مختلفة فى المناطق السهلية المنخفضة المنسوب، وتتلخص أهم هذه الظواهر فى الآتى :

١ - رواسب الطفّل الجليدى *Boulders* :

تعمل الغطاءات الجليدية أثناء انسيابها فوق الأراضى المنخفضة المنسوب على احتكاكها بالصخور ونقل المفتتات الصخرية الى مسافات طويلة قد تبعد كثيراً عن مراكزها الأصلية. وعندما تتعرض الغطاءات الجليدية للإنصهار التدريجى تتراكم فرشات الرواسب فوق سطح الأرض وتغطى كل المقعرات الثانوية، ويطلق عليها «رواسب الطفل الجليدى». وتتألف هذه الرواسب من حبيبات صخرية مختلفة الشكل والحجم وهى غالباً ما تكون مقشوطة وحادة الجوانب، وتمتزج مع بعضها البعض بواسطة الرمال الناعمة الدقيقة الحبيبات.

وتعد دراسة رواسب المفتتات الصخرية والطفّل الجليدى من بين أهم

العوامل التى تساعد الباحث على معرفة اتجاهات انسياب الغطاءات الجليدية أو بمعنى آخر تحديد المناطق الأصلية التى نشأت فيها ثم الطرق التى سلكتها أثناء تقدمها الى أن أرسبت حمولتها.

٢ - الكتل الضالة *Erratic Blocks* :

قد يعمل الجليد على نقل كتل صخرية لمسافات بعيدة دون أن تتأثر هذه الكتل كثيراً بفعل الاحتكاك مع سطح الأرض، ومن ثم لا تتعرض كثيراً للتعرية الشديدة. وبعد تقهقر الجليد الى الوراء تبعاً لعمليات الانصهار تتبقى هذه الكتل الصخرية إما على شكل صخور معلقة تتخلف فوق السفوح الجبلية العالية، أو على شكل ما يسمى بالكتل الضالة وذلك عندما تتبعثر الكتل الصخرية المنقولة فى بطون الأودية وفوق سطح المناطق السهلية المنخفضة. ومما يؤكد نقل هذه الكتل الصخرية بفعل الجليد ما يلى :

أ - عدم تشابه التكوين الصخرى للكتل الضالة بنوع الصخور المحلية التى تتركز فوقها.

ب - تتشكل الكتل الصخرية الضالة بالخدوش الكثيفة *Striations* والتى تظهر بوجه خاص على جوانب الكتل وأسطحها، وهذه ان دلت على شىء فإنما تدل على أن الكتل الصخرية نقلت لمسافات طويلة بواسطة الجليد.

جـ - الحجم الهائل لبعض الكتل الصخرية الضالة والتى لا يمكن أن يقوم بنقلها سوى الجليد الهائل الحجم.

٣ - الركامات الجليدية *Glacial Moraines* :

ينقل الجليد كميات ضخمة من المفتتات الصخرية وينحصر معظمها فى الوادى الجليدى الى أن تترسب بأشكال جيومورفولوجية مختلفة، ويطلق على الرواسب الجليدية التى تحملها الأنهار الجليدية اسم «الركامات الجليدية» وتتألف هذه الرواسب من مفتتات صخرية مختلفة الشكل والحجم ويتنوع تركيبها الصخرى تبعاً لتنوع صخور المناطق التى اشتقت منها والطرق التى

سلكتها، وتبدو عادة على شكل أكوام من مفتتات ارسابية غير متجانسة فى الشكل والتركيب الجيولوجى. وتبعاً لموقع هذه الرواسب بالنسبة لأجزاء الوادى الجليدى، يقسم الباحثون الركامات الجليدية الى المجموعات الرئيسة الآتية :

أ – الركامات الجانبية *Lateral moraine* :

وهى الرواسب المختلفة التى تتجمع على جانبى النهر الجليدى تبعاً لاحتكاك الجليد بالصخور اللينة على جانبى الوادى، وتعرض جوانب الأودية كذلك لعمليات التجمد والانصهار وتفتيت الصخور التى تتألف منها.

ب – الركام الأوسط *Medial moraine* :

يتكون هذا الركام الجليدى عندما يلتحم ركامان جانبيان مع بعضهما البعض نتيجة لاتصال أكثر من مجرى نهر جليدى فى نهر جليدى رئيسى واحد، وينجم عن ذلك تكوين أشرطة طولية مستقيمة الامتداد من الرواسب تتوسط المجرى الجليدى.

جـ – الركام النهائى *End moraine* :

عندما يتعرض النهر الجليدى الى التراجع خلفياً تبعاً لإنصهار الجليد تتخلف كميات هائلة من الرواسب عند النهايات الهامشية لمجراه ولما كان النهر الجليدى يتعرض لذبذبات متعاقبة يرمز بعضها الى حدوث عمليات تقهقر الجليد فى حين تدل الأخرى على حدوث تقدمه (تبعاً لتعاقب حدوث الفترات الدفيئة والأخرى الباردة) أطلق البعض على هذه الرواسب اسم الرواسب التراجعية *Recessional moraines*.

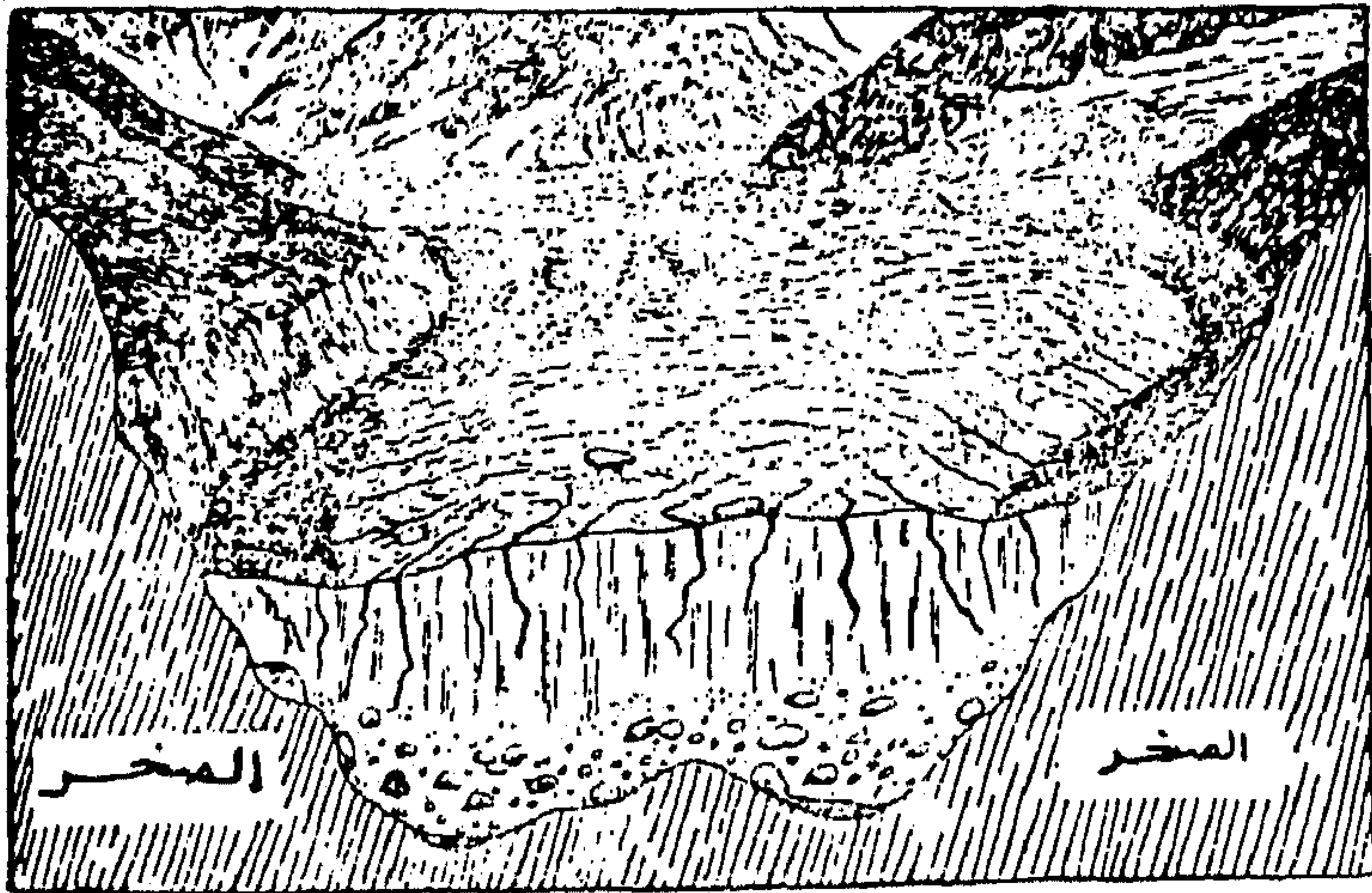
د – الركام الأرضى *Ground Moranies* :

يطلق تعبير الركام الأرضى على مجموعة الرواسب الجليدية التى تحتل الأجزاء السفلى من الغطاء الجليدى النهرى وتتركز فوق قاعه ومن ثم تقع مباشرة فوق سطح الأرض. وتختلف خصائص الرواسب الجليدية وتتنوع

أشكالها من مكان الى آخر على طول أجزاء المجرى الجليدى، إلا أن رواسب الركام الأرضى تتميز بأنها دقيقة الحجم وغير متجانسة التكوين ولا تظهر على السطح إلا بعد إنصهار كل أجزاء النهر الجليدى الواقع فوقها (شكل ٥٣).

٤ - الرواسب الجليدية النهرية *Fluvio-Glacial deposits* :

عندما تتعرض كل من الأنهار والغطاءات الجليدية للانصهار السريع تبعاً لإرتفاع درجة الحرارة كما كان الحال فى الفترات غير الجليدية تتكون بعض المجارى المائية خاصة أسفل الغطاءات الجليدية وفى قاع الوادى الجليدى نفسه. وتقوم هذه المجارى المائية بالدور الذى تقوم به الأنهار العادية فى المناطق الأخرى غير الجليدية. ومن ثم تعمل هذه الأنهار على إعادة تشكيل الرواسب الجليدية النهرية وارسابها بشىء من التناسق بحيث تبدو فى صورة شبه طباقية.



(شكل ٥٣) الوادى الجليدى ومناطق تجمع الركامات الجليدية المختلفة
لاحظ الركام الأرضى الذى يحتل قاع الوادى الجليدى

وتساهم هذه الرواسب الجليدية النهرية فى نشوء أشكال جيومورفولوجية مختلفة على سطح الأرض ومن بينها :

أ - رواسب الأسكرز *Eskers* :

تتألف رواسب الاسكرز من الحصى وفتات الصخور المختلطة مع الأتربة والرمال. وهى تشبه رواسب الطفل الجليدى من حيث التكوين الجيولوجى إلا أن الحبيبات الصخرية برواسب الاسكرز تتميز باستدارتها وشكلها البيضاوى أو الكروى وسطحها الأملس مما يدل دلالة واضحة على أثر فعل التعرية المائية فيها. وقد تتكون رواسب الاسكرز على شكل طبقات يختلف كل منها عن الطبقة التى تقع فوقها أو أسفل منها من حيث التكوين الجيولوجى وشكل الرواسب وأحجامها، وان دل هذا على شيء فإنما يدل على أن رواسب الاسكرز لا ترجع الى فترة واحدة بل أنها ترسبت خلال فترات متعاقبة.

ب - رواسب الكام *Cams* :

تبدرو رواسب الكام على شكل رواسب تغطى بعض المدرجات التى تتمثل على جانبى الوادى الجليدى والذى أعيد تشكيله بفعل المجارى النهرية وتختلف رواسب الكام عن رواسب الاسكرز بما يلى :

١ - ظهورها على شكل قباب صغيرة محدودة الارتفاع ومتناثرة فوق سطح الأرض وكثيراً ما تتمثل فى هيئة مدرجات إرسابية.

٢ - عدم انتظام عملية ارساب فتات الصخور والحصى فيها كما هو الحال فى رواسب الاسكرز الأكثر منها تناسقاً.

٣ - قد تتجمع رواسب الكام فوق أسطح الجليد وخاصة فى بعض الحفر أو داخل الفتحات الواسعة للشقوق الصخرية الجليدية.

وبعد عملية تقهقر الجليد قد تظهر بقايا رواسب الكام على شكل مدرجات ارسابية جانبية ناشئة عن أثر تراكم الرواسب الجليدية النهرية على جانبى النهر الجليدى.

٥ – الكثبان الرملية *Drumlins* :

يطلق الباحثون تعبير الكثبان الجليدية على تلك المجموعة من الرواسب الجليدية التى تظهر على سطح الأرض على شكل تلال كثيبية بعد عملية تقهقر الجليد وتراجعه خلفياً. وتتألف هذه التلال من رواسب جليدية قوامها الطفلّ والمفتتات الصخرية المعروفة باسم *Till*.

ويتضح عند دراسة أشكال هذه المفتتات أثر الدور الذى تقوم به فعل المياه فى إعادة تشكيل أسطحها المستوية الملساء، وشكلها البيضاوى، وكما هو الحال فى رواسب الاسكرز فإن رواسب الكثبان الجليدية تكونت كذلك أسفل الجليد بفعل المياه النصهرة. وتتكون الكثبان الجليدية عادة فى مجموعات تحتل مساحات واسعة الامتداد تميز المنطقة التى تتكون فيها بسطح مموج. وحيث أن الكثيب الجليدى تندس جذوره فى الرواسب العليا لسطح الأرض، بينما تظهر أعاليه البيضاوية الشكل فوق سطح الأرض، لذا أطلق الباحثون على سطح الأرض الذى تشغله هذه الكثبان الجليدية اسم «سطح سلة البيض» *Basket of Eggs Relief* وتختلف الكثبان فيما بينها من حيث الحجم والارتفاع، ويتراوح متوسط ارتفاع الكثيب الجليدى الواحد من ١٠ الى ١٠٠ مترا فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة.

الفصل الثامن
الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

تتألف القشرة الأرضية اليوم من نطاقات صخرية مختلة تتنوع فيما بينها تبعاً لمدى تأثرها بالحركات التكتونية. فهناك أجزاء واسعة من قشرة الأرض تتألف من كتل صخرية قديمة العمر الجيولوجي يرجع معظمها الى فترة ما قبل الكمبرى، ويتألف القليل من أجزائها من صخور أعالى الزمن الجيولوجى الأول. ومن ثم فإن هذه الكتل الصخرية الصلبة تبدو مستقرة جيولوجياً، ولم تتعرض لحدوث الالتواءات الألبية الميوسينية الكبرى *Alpine Orogenesis*. ومن النادر أن تتعرض بعض أجزاء تلك الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية حديثة بحيث يتكون فيها سلاسل جبلية رئيسية، ويعزى ذلك الى شدة صلابة صخورها من جهة، وقلة سمك الفرشات الإرسابية المتجمعة فوق بعض أجزائها من جهة أخرى. وإذا تعرضت بعض أجزاء هذه الكتل الصخرية القديمة لحركات تكتونية ما، فينجم عن ذلك تأثرها بحركات صدعية، ومن ثم تتزحزح بعض صخورها أفقياً أو رأسياً وتتكون فيها مناطق الصدوع *Fault zones* وتتأثر بنماذج مختلفة من الصدوع المركبة والأحواض الصدعية الهابطة *Grabens* والهضاب الصدعية البارزة *Horsts*، والأخاديد الصدعية الكبرى كالأخدود الأفريقى العظيم. ويطلق على هذه النطاقات الصخرية من قشرة الأرض أسماء مختلفة ومن أكثرها شيوعاً تعبير الكتل القارية القديمة *Ancient Land Masses* ويقصد بذلك أجزاء القارات القديمة العمر الجيولوجى والشديدة الصلابة *Highly Rigid*، والكتل القارية المستقرة *Stable Land Masses* حيث أنها تعد أكثر أجزاء القارات استقراراً من الناحية

الجيولوجية. ويطلق بعض الجيولوجيين على مثل هذه النطاقات القارية تعبير الكتل القارية الدرعية القديمة *Ancient Shields*، ذلك لأنها نطاقات قارية قديمة العمر الجيولوجي من ناحية، وأنها جميعاً تبدو على شكل سهول واسعة الامتداد ذات أسطح محدبة في القسم الأوسط منها *Gently Convex Profiles*، وتنحدر انحداراً تدريجياً بسيطاً نحو الأطراف من ناحية أخرى.

وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية أن الكتل القارية القديمة قد اتصلت بعضها بالبعض الآخر عن طريق مناطق تلاحم جيولوجية تمثل في نفس الوقت مناطق ضعف جيولوجية. ومن ثم أكد الجيولوجيون بأن تلك المناطق الأخيرة كانت في بداية نشأتها عبارة عن أحواض بحرية تكتونية *Geosynclines* تجمعت الرواسب الهائلة الحجم فوق قاعها خلال أزمنة جيولوجية طويلة متعاقبة، ثم تعرضت هذه الرواسب لعمليات الرفع التكتونية وظهرت فوق سطح الأرض على شكل جبال وسلاسل جبلية ربطت الكتل القارية القديمة جيولوجياً بعضها بالبعض الآخر. وحيث تكونت هذه النطاقات الضعيفة جيولوجياً بفعل الحركات التكتونية الألبية الميوسينية، فإنها تعد مناطق حديثة غير مستقرة جيولوجياً، ولا تزال تتعرض أجزائها المختلفة في الوقت الحاضر لحركات تكتونية متنوعة وتمثل أهم نطاقات حدوث الزلازل والبراكين.

أولاً: الكتل القارية المستقرة جيولوجيا

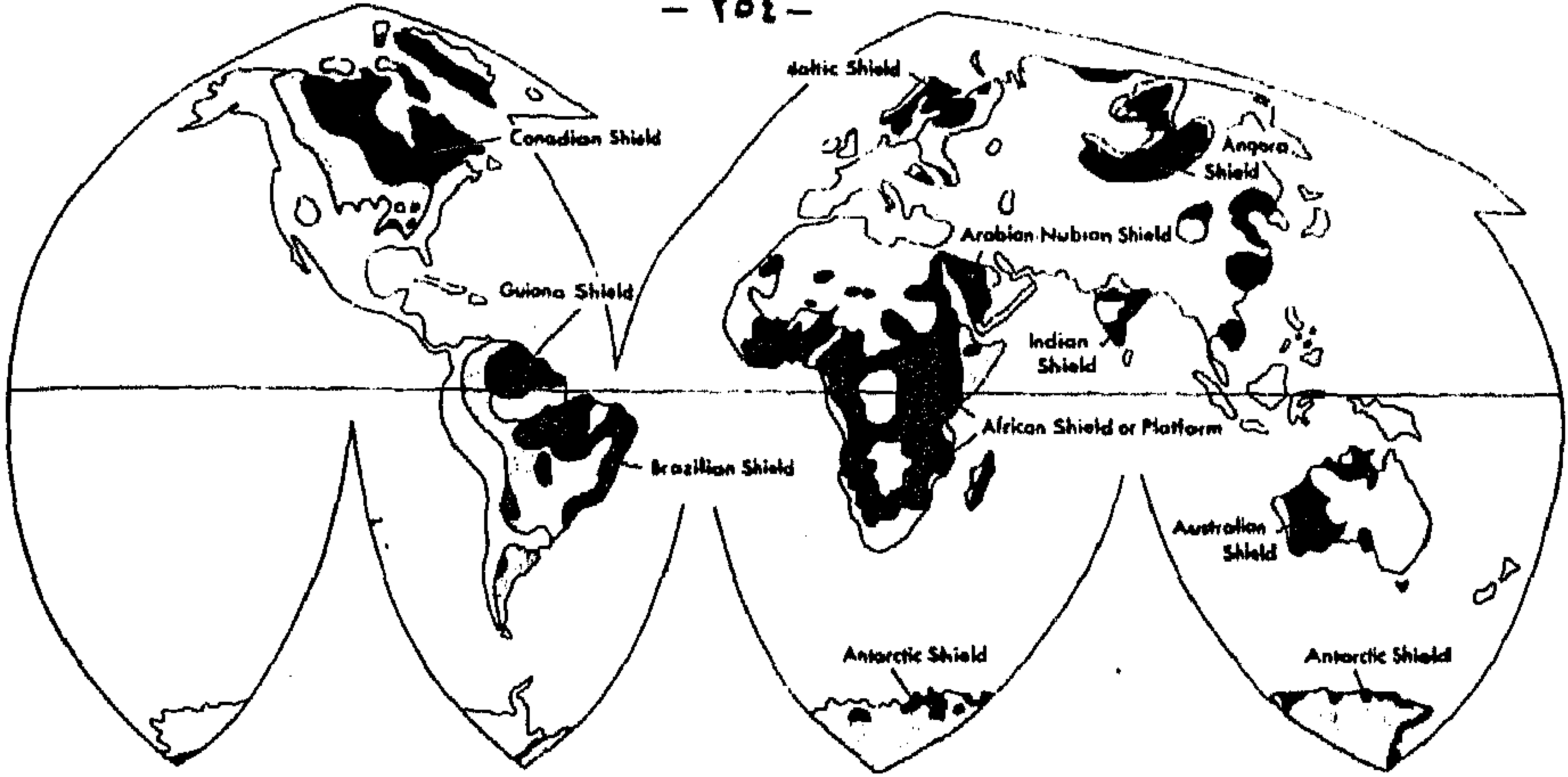
تمثل الكتل القارية المستقرة المناطق القديمة العمر جيولوجياً، ومن ثم بقايا اليابس الأولى القديم *Primitive Lands* لقشرة الأرض. وقد كانت تلك الكتل - المنتشرة حالياً في مناطق مبعثرة في القارات الحالية فوق سطح الأرض - أكثر اندماجاً وارتباطاً مع بعضها البعض بل وكانت تكون كتل واسعة الامتداد في القارات القديمة العمر الجيولوجي. فقد اعتقد فجنر *A. Wegener* بأن يابس قشرة الأرض كان متجمعاً في كتلة واحدة كبرى أطلق عليها اسم كتلة بنجايا *Pangaea* وكان يمتد في أواسطها بحر جيولوجي قديم، أطلق عليه اسم

بحر تثس *Tethys*. أما الباحث الأمريكى تايلور *Taylor F B* فقد أوضح بأن أجزاء واسعة من قارات أمريكا الشمالية وأوربا وآسيا كانت ملتحمة مع بعضها البعض فى كتلة قارية قديمة أطلق عليها اسم كتلة لوراسيا *Laursia*.

وقد أجمعت الدراسات الجيولوجية على أن يابس القسم الشمالى من العالم القديم (قبل العصر الكربونى) كان يتألف من قارتين، إحداهما كانت تقع فى الغرب وأطلق عليها اسم كتلة أركتس *Arctics* والأخرى كانت تقع فى الشرق وأطلق عليها اسم كتلة أنجارا *Angara*. أما يابس القسم الجنوبى من الكرة الأرضية فكان يتألف قديماً من كتلة قارية أطلق عليها كتلة جندوانا *Gondwana* . وقد أظهرت نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة، على أن هذه الكتل القارية الكبيرة القديمة تعرضت للانقسام والزحزحة الأفقية منذ بداية العصر الكربونى تقريباً، وأخذ بعضها يتباعد عن البعض الآخر. وفى مواقعها الجديدة التى استقرت عندها تلك الكتل، وبعد أن توقفت عمليات زحزحتها أخذت تنمو بالتدريج نتيجة لإضافة أجزاء جديدة من اليابس الى أطرافها وهوامشها. وهكذا كانت ولا تزال تعد أجزاء تلك الكتل القارية القديمة النواة التى نمت وتنمو عليها كل من القارات الحديثة التى تظهر اليوم فوق سطح الأرض.

ومن دراسة التوزيع الجغرافى للكتل القارية القديمة يتبين أنها ممثلة فى قارة أوربا حيث تظهر هنا كتلة فينو ـ سكانديا *Fenno - Scandia* (الكتلة الفنلندية ـ البلطية) وكتلة الرصيف الروسى. وفى قارة آسيا تمتد كتلة سيبريا فى القسمين الشمالى الشرقى والشمالى منها، وكتلة الصين فى القسم الشرقى، وكتلة الدكن فى القسم الجنوبى من آسيا. هذا وتمتد كتلة غرب استراليا فى قارة استراليا، وكتلة جنوب أفريقيا فى قارة أفريقيا، وكتلة شرق البرازيل وكتلة جيانا فى قارة أمريكا الجنوبية، وكتلة لورنشيا (الكتلة الكندية) فى قارة أمريكا الشمالية (شكل ٥٤).

وليس من المناسب فى دراستنا هذه أن نقوم بعرض دراسة وصفية تفصيلية



(شكل ٥٤) التوزيع الجغرافى للكتل القارية القديمة المستقرة

لجميع الكتل القارية المستقرة تتشابه جيولوجياً وتشترك مع بعضها البعض فى كثير من الخواص الجيولوجية، أو بمعنى آخر تكاد كل كتلة قارية منها تضم نفس الخصائص الجيولوجية التى يمكن أن تلاحظ فى غيرها من الكتل القارية الأخرى. ومن ثم يحسن فى هذا المجال بدلاً من القيام بالدراسة الوصفية لكل كتلة قارية على حدة أن نوضح الخصائص الجيولوجية التى تخص جميع الكتل القارية وتميزها عن غيرها من النطاقات الجيولوجية الأخرى فوق سطح الأرض. وهذا لا يمنع أيضاً من أن نقوم بعرض للتطور الجيولوجى والخصائص العامة لإحدى هذه الكتل - ولتكن الكتلة اللورنشية - كنموذج تطبيقى لبقية الكتل القارية الأخرى. وتتلخص الخصائص المشتركة العامة للكتل القارية فى النقاط التالية :

١ - التركيب الصخرى :

تتألف الكتل القارية المستقرة من صخور قديمة العمر الجيولوجى يرجع أغلب مجموعاتها الى عصر ما قبل الكمبرى *Pre-Cambrian* وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة بأنه كلما كانت تلك الصخور أقدم عمراً جيولوجياً، فإنها تصبح أشد صلابة وتماسكاً عن غيرها من مجموعات الصخور الأخرى. كما تبين كذلك بأن الصخور الرسوبية فى تلك الكتل القديمة نتيجة لطول عمرها الجيولوجى وتعرضها لعمليات الضغط الشديدة

بفعل الرواسب الأحدث عمراً والتى تراكمت فوقها خلال بعض الفترات الجيولوجية، ولتداخل مصهورات نارية فيها، تعرضت بشدة لعمليات التحول الصخرى وأصبحت صخوراً متحولة.

٢ - قدم العمر الجيولوجى :

من بين أهم الخصائص الجيولوجية المميزة لجميع الكتل القارية المستقرة فوق سطح الأرض أنها قديمة العمر الجيولوجى، وأن معظم صخورها كما اتضح من قبل ترجع الى فترة ما قبل الكمبرى. ويقدر الجيولوجيون العمر الجيولوجى النسبى لصخور فترة ما قبل الكمبرى بدراسة تأثير فعل العناصر المشعة *Radio active elements* مثل اليورانيوم والثوريوم والرابيديوم والبوتاسيوم فى الصخور القديمة ومن نتائج هذه الدراسات تبين أن أقدم صخور ما قبل الكمبرى بالكتل القارية القديمة فى جنوب أفريقيا يرجع عمرها الى نحو ٣٣٠٠ مليون سنة، وفى الكتلة اللورنشية الى نحو ٣٤٠٠ مليون سنة، وفى الكتلة البلطية الى نحو ٣٥٠٠ مليون سنة، وفى كتلة غرب أستراليا الى نحو ٣٠٠٠ مليون سنة.

٣ - الجذور النارية القديمة :

من دراسة التركيب الجيولوجى للكتل القارية المستقرة جيولوجياً يتضح أن هناك بعض نطاقات من صخور الجرانيت مبعثرة فى مناطق متفرقة وخاصة بالقسم الأوسط من الكتل القارية. وتبدو صخور الجرانيت شديدة التأثر بفعل عوامل التعرية التى نجحت فى تسوية الكتل الجرانيتية وإزالة الكثير من تكويناتها. وأكد الباحثون بأن معظم تكوينات الجرانيت فى الكتل القارية المستقرة تمثل فى الواقع جذوراً نارية قديمة *Ancient Igneous Roots* لمرتفعات وسلاسل قديمة العمر الجيولوجى. وقد استطاعت عوامل التعرية إزالة الكثير من تكوينات هذه الجذور الجبلية خلال الأزمنة الجيولوجية الطويلة.

٤ - الكتل القارية القديمة نواة للقارات الحديثة :

إذا كانت الجذور النارية هى قلب الكتل القارية، فإن الأخيرة تعد بدورها النواة الرئيسية *Nuclei or Cores* التى نمت حولها كل من قارات العالم المختلفة. ومن ثم نلاحظ عند دراسة مراحل نمو القارات المختلفة بأن كلاً منها مركب من نطاقات صخرية حديثة العمر الجيولوجى، تحيط بالكتل القارية القديمة جيولوجياً. فقد نمت قارة أمريكا الشمالية حول نواتها القديمة الممثلة فى الكتلة اللورنشية، فى حين ازداد إتساع قارة أمريكا الجنوبية بعد إضافة مساحات جديدة من اليابس الحديث العمر جيولوجياً الى كل من كتلتى البرازيل وجيانا. وكذلك الحال بالنسبة لنمو قارة أوروبا حول كتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسى، ونمو قارة آسيا حول كتل سيبريا والصين والدكن، ونمو قارة أستراليا حول كتل غرب استراليا، ونمو قارة أفريقيا حول كتلة جنوب أفريقيا.

٥ - إنتشار بقايا السهول التحاتية القديمة :

حيث إن التكوينات الصخرية للكتل القارية ظهرت فوق سطح الأرض منذ فترات جيولوجية بعيدة، فإن عوامل التعرية عملت على تعرية أسطح هذه التكوينات، وإزالة المحدبات، ونجحت فى النهاية فى أن تكون سهولاً تحاتية قديمة العمر الجيولوجى. ومما ساعد على زيادة امتداد السهول التحاتية فوق تلك الكتل القارية هو عدم تأثرها بحركات رفع تكتونية تؤدى الى تغيير المظهر التضاريسى لسطح الأرض، ومن ثم فقد عملت عوامل التعرية بحرية تامة فى تشكيل المظهر التضاريسى العام لأسطح الكتل القارية، ولا تتوقف مجموعات السهول التحاتية فى الكتل القارية على تلك السهول الحديثة النشأة والتى تظهر بقاياها على سطح الأرض وتشكل المظهر العام لسطح الكتل القارية، بل كذلك هناك الكثير من بقايا السهول التحاتية القديمة التى ترجع الى الزمن الجيولوجى الثانى، وتوجد مدفونة أسفل التكوينات والإرسابات الحديثة. وتكشف بقايا السهول التحاتية القديمة عند إزالة بعض أجزاء من

الإرسابات الحديثة التى تتراكم فوقها غير أن الأدلة العلمية عن امتداد السهول التحاتية القديمة تواجه الكثير من النقد فى الوقت الحاضر حيث أنها أدلة غير مؤكدة ولا توجد رواسب قديمة فوق بقايا السهول.

٦ - الحركات التكتونية فى الكتل القارية :

تبعاً لشدة صلابة صخور الكتل القارية القديمة فلا ينجم عن عمليات الرفع التكتونية فيها تجعد قشرة الأرض وثنيها أو طيها على شكل سلاسل جبلية. ومن ثم لا تتمثل مظاهر الالتواءات الألبية الحديثة (الميوسينية) فى أجزاء هذه الكتل المستقرة.

ومع ذلك فقد تعرضت معظم أجزاء الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية قديمة جداً أدت الى تكوين سلاسل جبلية قديمة العمر الجيولوجى (ينتمى معظمها الى الحركة الكارنية فيما قبل الكمبرى) وعملت عوامل التعرية خلال الفترات الجيولوجية الطويلة على تشكيل هذه المرتفعات وتسويتها. فخلال فترة ما قبل الكمبرى تعرضت الكتل اللورنشية لحركات رفع تكتونية من بينها ما يعرف باسم الحركة اللورنشية *Laurentian*، والحركة الكيواتية *Keewatin* وتأثرت الكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسى بحركات رفع تكتونية قديمة تعرف باسم الحركة اللويزية *Lewisian* والحركة الماريلبية *Marealbean* وحركة جوثيك *Gothec*. ومن بين الحركات التكتونية لفترة ما قبل الكمبرى التى تتأثر بها كتلة جنوب أفريقيا حركة سوازى لاند *Swaziland* وحركة سيراليون *Sierra Leone*.

٧ - الكتل القارية القديمة وأثرها فى تشكيل اتجاه السلاسل الالتوائية الألبية الحديثة :

إن كانت الكتل القارية القديمة المستقرة لم تتأثر بحركات الطى التكتونية الميوسينية، ولم ينتج فيها ملامح واضحة للسلاسل الجبلية الألبية، فإن كتل صخورها الصلبة لها بعض الأثر فى تشكيل اتجاه بعض السلاسل الالتوائية

الألبية وتقوسها. فمن دراسة التوزيع الجغرافى لهذه السلاسل الجبلية الأخيرة يتضح أن معظمها يتخذ شكل أقواس تحيط بهوامش الكتل القارية الصلبة.

الكتلة اللورنشية القديمة

تشغل الكتلة اللورنشية *Laurentian Shield* أو كما يطلق عليها أحياناً اسم الكتلة الكندية نحو نصف مساحة قارة أمريكا الشمالية بل تمتد أبعادها شمالاً وتضم مجموعة جزر الأرخبيل الواقعة الى شمال خليج هدسن ومعظم أجزاء جزيرة جرينلند. وتمتد الكتلة جنوباً على شكل قوس هائل يحده خط من البحيرات الجليدية النشأة وتشمل من الغرب الى الشرق بحيرات جريت بير *Great Bear* وجريت سليف *Great Slave* واتباسكا *Athabasca* وويتيبج *Winnipeg* ثم مجموعة البحيرات الخمس الكبرى وتشمل بحيرات سوربيريور *Superior* ومتشجن *Michigen* وهورن *Huron* وإيرى *Erie* وانتاريو *Ontario* ومعظم القسم الأدنى من حوض نهر سنت لورنس.

وتعتبر الكتلة اللورنشية أظهر مثال لمجموعة الكتل القديمة جيولوجياً حيث تتألف تكوينات هذه الكتلة من صخور ما قبل الكمبرى ومعظمها عبارة عن صخور رسوبية تعرضت لعمليات التحول، وأصبحت تنتمى لمجموعة الصخور المتحولة، وتتخللها جذور نارية لمرتفعات قديمة تمت إزالة تكويناتها بفعل عوامل التعرية كما يتدخل فى بعض أجزاء هذه الصخور عروق وسدود نارية مختلة. ولم تتأثر هذه الكتل بحركات الرفع التكتونية الألبية الحديثة إلا أنها تشكلت بالصدوع وخاصة فى الجانب الشرقى منها فى هضبة لبرادور. وتبعاً لإستقرار هذه الكتلة تكتونياً وشدة فعل عوامل التعرية لفترة جيولوجية طويلة تميزت الكتلة بشدة استواء سطحها، وقلة منسوبها وتكونت فيها سهول تحاتية قديمة. كما تشكل القسم الشمالى من الكتل اللورنشية بتذبذب مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين، وطغى البحر على جزء كبير منها وأدى ذلك الى تكوين مجموعات جزر الأرخبيل الى الشمال من خليج هدسن. كما تشكلت سهول الكتلة اللورنشية القديمة بفعل الجليد البلايوستوسينى، وغطيت

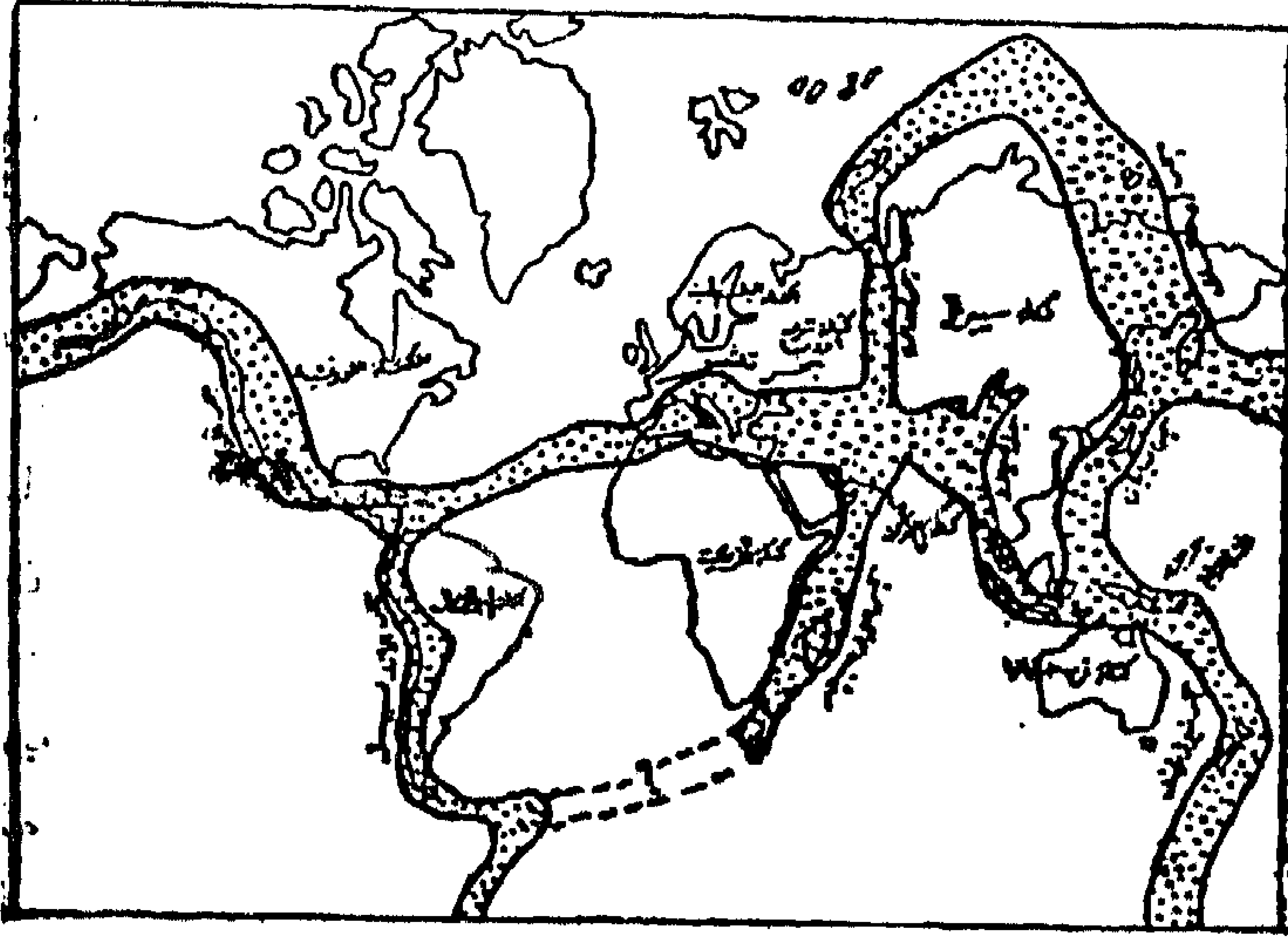
أجزاء واسعة منها بالركامات الجليدية، وتبعثرت فوقها الكثير من البحيرات الجليدية النشأة.

وقد نمت قارة أمريكا الشمالية حول الكتلة اللورنشية وأخذت مساحة القارة تزداد من فترة جيولوجية الى أخرى نتيجة لإضافة مناطق جديدة من اليابس حول أطراف الكتلة القارية القديمة.

ثانياً : مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة :

أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة بأن السلاسل الجبلية الكبرى التى تظهر بارزة فوق سطح الأرض اليوم، قد ترسبت موادها وصخورها (قبل تعرضها لعمليات الرفع التكتونية) فى أحواض بحرية تكتونية عظمى تعرف باسم *Geosynclines* . ويعد الجيولوجى الأمريكى جيمس هول *James Hall* أول من أشار علمياً الى هذه الملاحظة فى القرن التاسع عشر حيث تبين أن سمك كل من الطبقات الصخرية المختلفة فى المناطق الجبلية الالتوائية أكبر بكثير من سمك نفس هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية المجاورة. وأوضح هول بأن الصخور العليا من الزمن الجيولوجى الأول بمرتفعات الأبلاش يبلغ متوسط سمكها نحو أربعة أضعاف سمك نفس هذه الصخور بالسهول الساحلية الشرقية لأمريكا الشمالية.

وقد أوضح هوج *Haug* من نتائج دراسته لسمك الصخور الإرسابية فى البحار الجيولوجية القديمة، ومجموعات الحفريات التى تتمثل فيها، بأن هذه البحار كانت تمتد على شكل ألسنة طويلة محدودة الإتساع إلا أنها هائلة العمق والطول وتحيط بالكتل القارية القديمة (شكل ٥٥) ومن أظهر هذه البحار الجيولوجية القديمة بحر تثس التى تتمثل بقاياه فى البحر المتوسط وكان يفصل بين الكتل القارية فى أوربا شمالاً وكتلة أفريقيا جنوباً، ويطلق على القسم الشرقى منه بحر الهيملايا، وكان يفصل بين كتلة سيبريا فى الشمال وكتلة الدكن فى الجنوب. وفى الأمريكتين كان يمتد بحر الروكى - الأنديز الجيولوجى القديم، وقد كان بحراً طولياً يشغل القسم الغربى من القارتين.



(شكل ٥٥) الكتل القارية القديمة والبحار الجيولوجية القديمة التى تمثل مناطق ضعف جيولوجية حسب إقتراح الأستاذ هوج

ومن بين البحار الجيولوجية القديمة الأخرى بحر أورال الذى كان يفصل بين كتلة سيبريا شرقاً وكتلة الرصيف الروسى غرباً، وبحر موزمبيق وجزر الهند الشرقية [١].

حركات الرفع التكتونية الكبرى خلال الأزمنة الجيولوجية :

لا يتوقف تأثير حركات الرفع التكتونية على السلاسل الجبلية العالية التى نراها فوق سطح الأرض اليوم، بل هناك آثار لحركات تكتونية قديمة جداً (خلال فترة ما قبل الكمبرى)، عملت عوامل التعرية على تشكيل مظهرها، وإزالة محدباتها وثنياتها وأصبحت تبدو على شكل سهول مستوية السطح وتمثل نطاقات واسعة من الكتل القارية القديمة. وعلى الرغم من تعرض هذه السلاسل الجبلية القديمة لفعل عوامل التعرية خلال فترة طويلة من الزمن

---

(١) محمد متولى موسى ،وجه الأرض، القاهرة ص ١١٧.

الجيولوجي، وأصبحت تظهر على شكل سهول، إلا أن تركيبها الجيولوجي لا يزال يدل على مظهرها الأولى القديم، ويمكن للباحث الجيولوجي أن يدرك الصورة الأصلية لمثل هذه التكوينات الالتوائية القديمة وخاصة طيات ما قبل الكمبري *Pre-Cambrian Orogensis*، عند دراسته للتركيب الصخرى وبنية طبقات تلك المناطق. ويمكن حصر أهم هذه الحركات فيما يلي :

١ - تعد أقدم الحركات التكتونية المعروفة الآن في أمريكا الشمالية تلك التي حدثت خلال الفترة من ٢٦٠٠ الى ٢٤٠٠ مليون سنة مضت، وتعرف باسم الحركة اللورنشية *Laurentian*، والحركة الكيواتية *Keewatin*، ويناظر هذه الحركات التكتونية في أوربا، الحركة اللويزية *Lewisian*، والحركة الماريلبية *Marealbean*.

٢ - أكدت الدراسات الجيولوجية وجود تشابه كبير بين الحركات التكتونية القديمة في جنوب أفريقيا وغرب أستراليا وشبه القارة الهندية. وقد تشكلت هذه المناطق القارية جميعاً بحركات تكتونية عنيفة خلال الفترة من ٣٢٠٠ الى ٢٦٠٠ مليون سنة مضت. وأهم هذه الحركات التكتونية في أفريقيا هي حركات سوازى لاند *Swaziland* وسيراليون، *Sierra Leone* وبولاوايان *Bulawayan* وروديسيا *Rhodesia*.

٣ - وتميز الفترة من ٢٤٠٠ الى ٢٠٠٠ مليون سنة مضت، بهدوء قشرة الأرض نسبياً، ولكن الفترة من ١٨٠٠ الى ١٥٠٠ مليون سنة مضت انتابت قشرة الأرض حركات تكتونية كبرى من جديد وعرفت في أمريكا الشمالية باسم حركات أثباسكا *Athabsca* والهورنية *Haronean*، والسد برية *Sudbruy* ويقابل هذه الحركات التكتونية في أوربا حركات أوكرانيا الصغرى *Younger Ukrainian* والسكوفينية *Svcofennian* والكارلية *Karelian*.

---

(1) Wooldridge, S. W., and Morgan, R. S., "Geomorphology", London, (1961) p. 75.

٤ - ومنذ نحو ١٠٠ مليون سنة مضت تعرضت قشرة الأرض لحركات تكتونية من جديد، كان أهمها فى أمريكا الشمالية حركة جرينفيل *Greenville*، وفى أوربا حركة جوثيك بالنرويج *Gothec*، وفى أفريقيا حركة كيباران *Kibaran* وفى الهند حركة ستبورا *Stapura*. وفيما بعد الكمبرى تتلخص حركات بناء الجبال فى الآتى :

أ - الالتواءات الكاليدونية *Caledonian Orogenesis* :

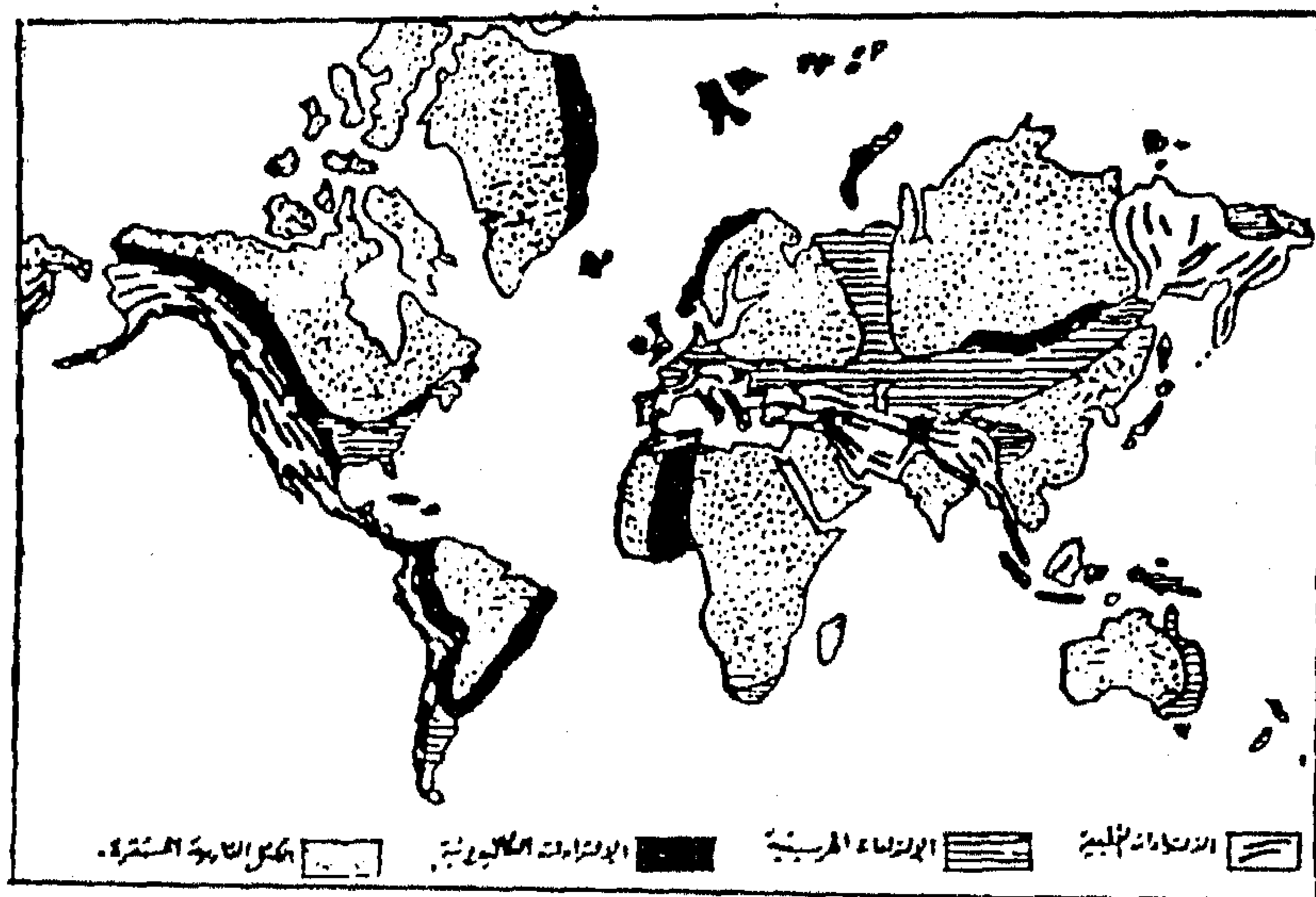
شغلت هذه الالتواءات الفترة الجيولوجية الممتدة فيما بين السيلورى والديفونى. واشتق اسمها من مرتفعات كاليدونيا فى اسكتلند والتى تمثل أحسن أمثلة هذه المجموعة من الالتواءات القديمة. وقد أكدت الدراسات الجيولوجية تشابه نظام البنية والتركيب الجيولوجى بين كل من تكوينات اسكتلند، وشبه جزيرة اسكنديناوة، مما جعل بعض الجيولوجيين يرجح بأنهما كانت أرضا واحدة ثم هبط بعض أجزائهما وشغل بحر الشمال تلك الأراضى الهابطة.

ومن ثم تمتد سلاسل الحركة الكاليدونية فى شمال غرب أوربا فى اتجاه عام من الجنوب الغربى الى الشمال الشرقى، وتظهر مرتفعاتها فى جزيرة أيرلند، واسكتلند والقسم الشمالى من انجلترا، وشمال ويلز، والقسم الجبلى الغربى من شبه جزيرة اسكنديناوة ويحد هذه الجبال الأخيرة خط بيحرات جلينت *Glint Line* الذى يفصل بين مناطق المرتفعات الالتوائية الكاليدونية والكتلة البلطية القارية القديمة.

أما فى قارة آسيا فتظهر نتائج الالتواءات الكاليدونية فى بعض أجزاء من مرتفعات سيبريا وخاصة مرتفعات كوليما فى الشمال الشرقى ومرتفعات جنوب بحيرة بيكال ومرتفعات بوريات *Buryat*، ومرتفعات سايان *Sayan* التى تشغل الحوض الأعلى لنهرى أوكا وانجارا، وفى السلاسل الجبلية التى تتمثل على الجانب الشرقى من الحوض الأوسط لنهر لينا. وتظهر السلاسل الجبلية الكاليدونية فى أفريقيا خاصة فى الصحراء الكبرى بمنطقة مرتفعات جورارة كما تظهر فى مرتفعات جنوب شرق استراليا فى ولاية نيوسوث ويلز.

أما فى أمريكا الشمالية فتمتد الالتواءات الكاليدونية فى هضبة بيدمنت والسفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات الإبلاش، وفى المناطق الهضبية الغربية الممتدة بين إقليم نيو انجلند حتى إقليم فرجينيا.

وقد صاحب الحركات التكتونية الكاليدونية ثورانات بركانية أدت الى تكوين نطاقات واسعة من السدود الرأسية والعروق والبراكين. وترجع التكوينات اللافية التى تتمثل تحت قاع المحيط أمام سواحل كورنول وديفون وكذلك بعض القمم الجبلية البركانية (بن نفيس *Ben Nivis* وجلين سوى *Glen Coe* وأوبان *Oban* وسيدلو *Sidlaw* وأوشيل *Ochel*) فى بريطانيا الى المصهورات البركانية الكاليدونية (شكل ٥٦).



(شكل ٥٦) المناطق المستقرة (الكتل القارية القديمة) وغير المستقرة من قارات العالم (مناطق الالتواءات الكاليدونية والهرسينية والألبية)

ب - الالتواءات الهرسينية *Hercynean Orogenesis* :

حدثت هذه الحركات التكتونية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجى امتدت من العصر الفحمى أو الكربونى *Carboniferous* حتى بداية العصر البرمى *Permian* . ولم تحدث هذه الحركات على دفعة واحدة بل ظهرت دوراتها خلال مراحل متعاقبة فيما بين هذين العصرين. ويطلق على هذه الحركة الالتوائية الكبرى أسماء متعددة منها الحركات الأرموريكية *Armorican* وخاصة فى الجزر البريطانية وفرنسا، فى حين يطلق عليها اسم الحركات الهرسينية *Hercynian* أو الحركات الفارسكية *Varsican* فى بقية أجزاء أوربا.

وقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن الحركة الهرسينية صاحبها كثير من عمليات التصدع الشديدة، وشكلت الصدوع المركبة الطبقات الصخرية التى تعرضت للإنثناء والإلتواء ومن ثم نجحت عوامل التعرية فى إزالة الكثير من تكوينات هذه الصخور وخاصة على طول أسطح الصدوع وفى مناطق الضعف الجيولوجى وأصبحت تبدو اليوم على شكل هضاب صدعية مضرسة.

وتمتد نطاقات الالتواءات الهرسينية فى قارة أوربا الى الجنوب من نطاق الالتواءات الكاليدونية على شكل هضيبات صدعية متوسطة المنسوب بالنسبة لمستوى سطح البحر الحالى. ومن بين أظهر هذه الهضاب كورنول *Cronwall* فى جنوب غرب انجلترا، والقسم الغربى من هضبة المزيتا فى شبه جزيرة أيبريا، وهضاب فرنسا الوسطى الى الغرب من ليون (أوفرن *Auvegne* ـ كليرمون فرا *Clermont Ferrand* ـ سفن *Cavennes*) ومرتفعات بريتانى فى غرب فرنسا، ومجموعة الهضاب الصدعية الوسطى فى أوربا وخاصة هضاب الفوج *Vosges* والغابة السوداء، وبوهيميا، والسوديت، وتاترا *Tatra* فى تشيكوسلوفاكيا، وهضاب مكيفيكا *Makeyevka* المتوسطة الإرتفاع الى الشمال من بحر آزوف *Azov* فى روسيا. أما فى قارة آسيا فتتمثل أهم المرتفعات الهرسينية فى المناطق المرتفعة من الصين الداخلية

وخاصة مرتفعات التاى *Altai* حول حوض زونجاريا، ومرتفعات سايان *Sayan Mts*، ومرتفعات خنجان *Khingan* ويابلونوى *Yablonvy* حول حوض شامو *Shamo* (جوبى *Gobi*) ومرتفعات ستانفوى *Stanovoy* وتعد أجزاء واسعة من مرتفعات الأبلاش الشمالية تابعة للحركات الهرسينية. أما فى أمريكا الجنوبية فتظهر نتائج هذه الحركة فى مرتفعات بتاجونيا، وفى أفريقيا قد تعد بداية نشأة مرتفعات دراكنزبرج تابعة لهذه المرحلة إلا أن هذه المرتفعات الأخيرة بلغت أعلى مراحل نموها خلال الزمن الثالث.

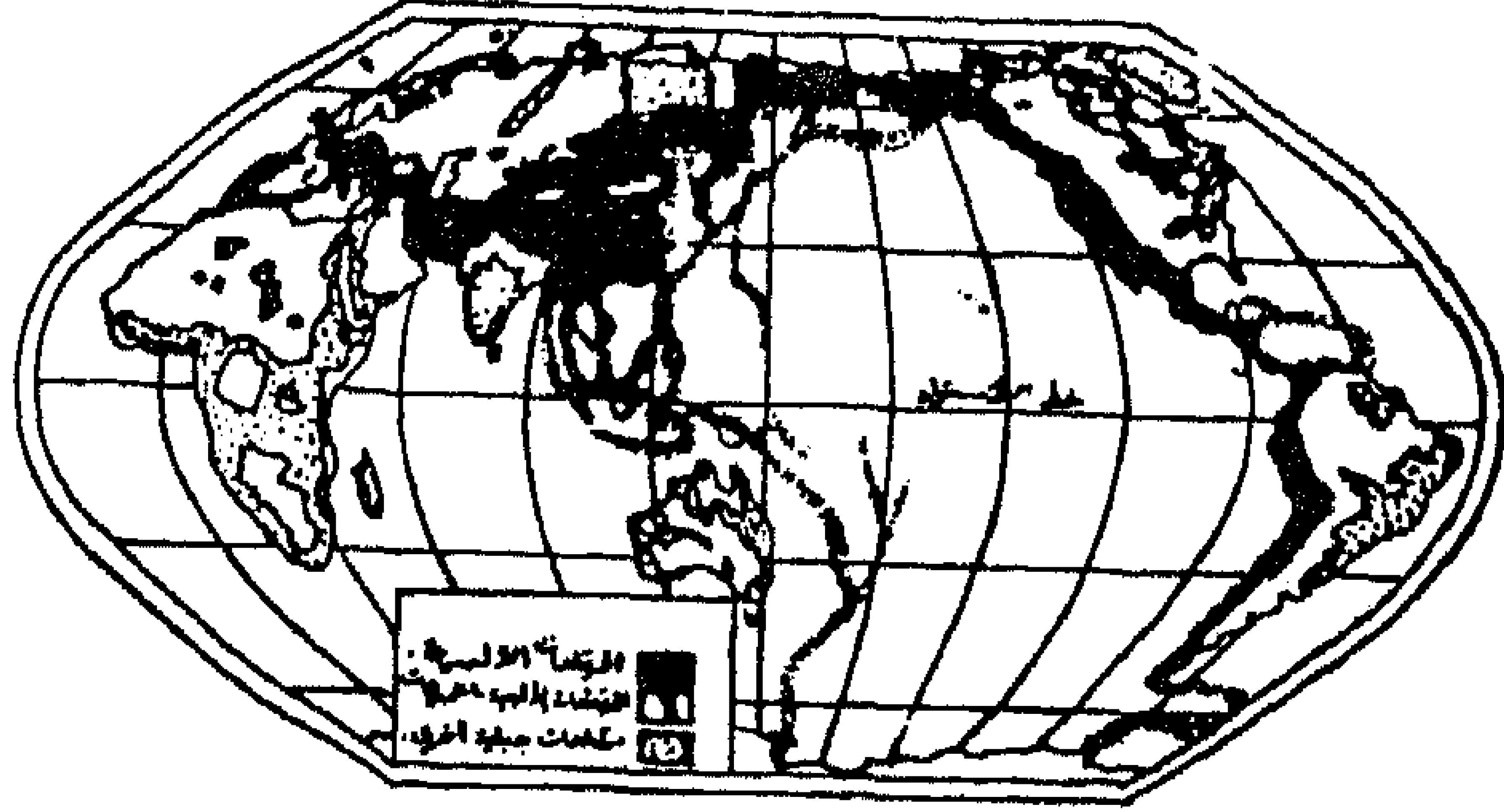
جـ - الالتواءات الألبية *Alpine Orogenesis* (١):

تعتبر هذه الالتواءات أحدث الحركات التكتونية التى تعرضت لها قشرة الأرض خلال الزمن الجيولوجى الطويل، وامتدت دوراتها من نهاية الزمن الثانى، وبلغت أعلى قوة لها خلال عصر الميوسين فى الزمن الجيولوجى الثالث، وعلى ذلك يقسم الجيولوجيون المراحل الثانوية التى أدت الى تكوين السلاسل الألبية الى مراحل ما قبل الزمن الثالث، وكانت الحركة الالتوائية فى بدايتها وتميزت بتدنى قوتها، ثم مرحلة عصر الميوسين الأوسط الذى زادت خلاله درجة نمو هذه السلاسل الالتوائية، ثم كان نهاية مرحلة نمو السلاسل الالتوائية بنهاية عصر الميوسين.

ومن دراسة التوزيع الجغرافى للسلاسل الجبلية الألبية فى العالم يتضح أنها تتكون على شكل أقواس حول الكتل القارية القديمة، وتظهر فى إتجاهين مختلفين (شكل ٥٧) وفى العالم القديم تمتد هذه السلاسل الالتوائية فى اتجاه عام من الغرب الى الشرق أما فى الأمريكتين فتمتد من الشمالى الى الجنوب وقد حاول فجنر *Wegener* ودالى *Daly*، وتايلور *Taylor* تفسير اختلاف اتجاه الامتداد العام للسلاسل الالتوائية وذلك عن طريق نظرية زحزحة الكتل القارية القديمة من مناطق القطبين نحو خط الاستواء ونتج عن ذلك تكوين

---

(١) سميت هذه الالتواءات بهذا الاسم نسبة لمرتفعات الألب Alps فى قارة أوربا.



(شكل ٥٧) السلاسل الجبلية الالتوائية واختلاف اتجاهاتها فى قارات العالم

السلاسل الجبلية العرضية (الغربية الشرقية) فى حين نتج عن زحزحة الأمريكتين غرباً تكوين سلاسل الكورديلليرا ـ الأنديز الطولية (الشمالية ـ الجنوبية).

وقسم الأستاذ ولدريدج *Wooldridge* السلاسل الجبلية الألبية فى القارة الأوربية الى مجموعتين هما :

أ - المجموعة الألبية الرئيسية : وتشمل من الغرب الى الشرق مرتفعات أطلس الساحلية فى شمال غرب أفريقيا وسيرانيفادا على الجانب الجنوبى لحوض الأندلس فى أسبانيا، ومرتفعات البرانس فى أسبانيا، ثم ينتمى الى هذه المجموعة مرتفعات الألب (الغربية والوسطى والشرقية) وتمتد السلاسل شرقاً لتضم أقواس مرتفعات ترانسلفانيا والكربات، والى الجنوب من مرتفعات ترانسلفانيا تمتد أقواس مرتفعات البلقان وردوب التى تظهر مكملاتها فى شمال تركيا وتعرف باسم مرتفعات بنطس أو «كانيك» *Canek*.

ب - المجموعة الألبية الأدرياتية : وتمتد جنوب المجموعة السابقة وتشمل من الغرب الى الشرق قوس مرتفعات أطلس التل أو الصحراء، ومرتفعات الأبنين وكلابريا فى شبه جزيرة إيطاليا، وسلاسل مرتفعات كابلا

Kapela وفـالبـيت *Velebit* والألـب الـديـناريـة *Panina Dinara* فى يوغسلافيا وامتدادها فى ألبانيا، ومرتفعات بندس *Pindus* فى شبه جزيرة المورة فى اليونان، وتمتد السلاسل الألبية شرقاً لتشمل مرتفعات طوروس *Taurus* فى جنوب تركيا.

أما فى قارة آسيا فإن مرتفعات بنطس ومرتفعات طوروس تتلاقى فى عقدة أرمينيا. ومن هذه العقدة الجيولوجية تتفرع سلاسل جبلية عالية أهمها سلاسل مرتفعات القوقاز فيما بين البحر الأسود وبحر قزوين، ومرتفعات البرز وهندكوش ومرتفعات زاجوراس التى تنحصر بينها هضبة إيران، وتلتقى هذه السلاسل مع مرتفعات سليمان فى عقدة جيولوجية كبرى هى عقدة بامير. ومن هذه المنطقة الأخيرة تتفرع أقواس جبلية رئيسية تتمثل فى كون لون، وقره قورم والهيملايا وتحصر بينها هضبة التبت، ومرتفعات تيان شان وتحصر بينها حوض تكلاماكان ويلاحظ أن مرتفعات شرق التبت لا تتجه شرقاً حتى تقابلها كتلة الصين الصلبة بل تتجه السلاسل على شكل أقواس نحو الجنوب وتعرف هنا باسم سلاسل مانيبور، وسلاسل أركانيوما، ثم باسم سلاسل دوانا فى شبه جزيرة الملايو.

أما فى أمريكا الشمالية، فتمد أقواس المرتفعات الألبية من الجنوب الى الشمال فى المناطق التى كان يحتلها من قبل حوض البحر الجيولوجى القديم فى غرب القارة. وتعرف الجبال فى غرب المسكيك باسم سيرامادير الغربية، ويمتد فى شرق المكسيك سيرامادير الشرقية ويحصران بينهما هضبة المسكيك. وفى الولايات المتحدة الأمريكية يزداد إتساع السلاسل الجبلية وتشغل القسم الغربى من أراضى البلاد، وتعرف على الجانب الغربى المطل على المحيط الهادى باسم السلسلة الساحلية ومرتفعات سيرانيفادا، وامتدادها المعروفة مرتفعات كاسكيد، ومرتفعات وارنر، أما فى الشرق فتظهر أقواس مرتفعات بيج هورن ولارامى، وبارك، والروكى. وقد تأثرت هذه المرتفعات بصدوع عنيفة، كما غطت المصهورات اللافية مناطق واسعة من هضبة كولومبيا،

وتحصر هذه السلاسل فيما بينها أحواض مرتفعة المنسوب منها الحوض العظيم، وحوض نيفادا، وحوض واساتش، وحوض كلورادو، وحوض أريزونا وموجاف.

وفى القسم الغربى من كندا ويشبه جزيرة ألسكا تظهر مكملات هذه النطاقات الألبية الكبرى وتعرف هنا باسم السلسلة الساحلية كذلك ومرتفعات سانت إلياس المطلة على خليج ياكوتا. وفى الشرق تعرف باسم مرتفعات ماكينزى، ومرتفعات كاسبر وأوميسا، وتحصر هذه المرتفعات فيما بينها هضاب مرتفعة أهمها هضبة يوكن وهضبة أوجيلفى.

أما فى أمريكا الجنوبية فتمتد المرتفعات الألبية الكبرى فى غرب القارة فى المنطقة التى كان يشغلها حوض بحر الأنديز القديم. وتظهر هذه المرتفعات على شكل ثلاث شعب ثانوية تعرف باسم مرتفعات ماجدلينا *Magdalena* فى كولومبيا، وسانتا مارتا *Santa Marta* على حدود كولومبيا - فنزويلا، ومرتفعات سانتا دى ماريدا *St. de Merida* فى غرب فنزويلا، وتلتقى هذه الشعب الثلاث جنوباً بجوار منطقة بركان كوتوباكسى *Cotopaxi* فى أكوادور، ثم تتجه الجبال على شكل قوس هائل يشرف على السهول الساحلية الغربية الضيقة للقارة ويزداد اتساع نطاق الجبال فى بوليفيا ويظهر بعض القمم الجبلية العالية جنوب تيتيكاكا *Titecaca* حيث يبلغ منسوبها نحو ٢١,٤٩ قدم فوق مستوى سطح البحر الحالى. ثم تمتد سلاسل المرتفعات بعد ذلك فى اتجاه شمالى جنوبى الى أن تتلاشى فى أقصى جنوب القارة بجزيرة النار «تيرادلفويجو» *Tierra del fuegu*.

الفصل التاسع
بعض الظاهرات التضاريسية الكبرى
فى النظام الصخرى
(الجبال والتلال والهضاب)
أولاً الجبال

يقصد بتعبير الجبال *Mountains* الأراضى ذات القمم الهرمية الشكل التى تبدو مرتفعة المنسوب لما يجاورها من أراضى. ويحدد بعض الجيولوجيين بأن الجبال تقع عادة فوق منسوب ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح البحر، أما تلك الأراضى التى تقع أسفل هذا المنسوب فتعرف باسم التلال *Hills*. ولكن من دراسة التوزيع الجغرافى للجبال واختلاف منسوبها لسطح البحر تبين أن من بين أهم ما يبرزها بالنسبة لما حولها من الأراضى المختلفة هو بلا شك زيادة منسوبها عن تلك الأراضى المجاورة لها وشكلها الهرمى أو المخروطى. وعلى ذلك يظهر الجبل على شكل مخروط أو بمعنى آخر تبدو المناطق السهلية عند قممه العليا محدودة الامتداد بالنسبة لارتفاع الجبل أو امتداده الرأسى فوق سطح الأرض المجاورة والذى يحدد بواسطة معرفة طول المسافة المحصورة بين أعالى الجبل وأقدامه السفلى وقد يظهر فى بعض المناطق قمم جبلية متجاورة تمتد على شكل سلسلة متصلة أو منفصلة الأجزاء. وتتألف كل من هذه السلاسل الجبلية من كتلة جبلية عالية بالنسبة لمنسوب سطح الأرض المجاورة وكثيراً ما يبدو فوق أعالى كل من هذه السلاسل الجبلية قمم جبلية عالية هرمية الشكل.

ولا تختلف الجبال والسلاسل الجبلية فيما بينها من حيث التوزيع الجغرافى

والشكل العام فقط بل كذلك من حيث نشأتها والعوامل التى أدت الى ظهورها وتكوينها، والأزمنة الجيولوجية التى ظهرت خلالها وقد صنف الجيولوجيون مجموعات الجبال والسلاسل الجبلية تبعاً لظروف نشأتها، وتنحصر مجموعات الجبال تبعاً لذلك فيما يلى :

(أ) الجبال البركانية *Volcanic Mountains* :

تتألف الجبال البركانية أساساً من المخروطات البركانية *Volcanic Cones*. وعلى الرغم من نتشار الطفوح والمصهورات البركانية فى أجزاء واسعة من سطح الأرض إلا أن الجبال البركانية تعد محدودة الإنتشار. ويعزى السبب فى ذلك إما إلى ظهور معظم المصهورات البركانية فوق سطح الأرض على شكل غطاءات وهضاب لافية، أو الى تعرض المخروطات البركانية لفعل عوامل التعرية الخارجية وإزالتها خاصة بعد توقف النشاط البركانى وإنخماده.

ويرتبط التوزيع الجغرافي للجبال أو المخروطات البركانية بمناطق الضعف الجيولوجية كما هو الحال فى المناطق الجبلية الالتوائية الميوسينية، وفى مناطق إلتحام صخور السيال القارية بصخور السيما المحيطية (حد الأندسيت *Andesits Line*) كما هو الحال على طول هوامش المحيط الهادى.

إلى جانب هذا النطاق الرئيسى. تظهر الجبال البركانية كذلك فى مناطق أخرى متفرقة من بينها جزر هاواى، وجزيرة مدغشقر، وبهضبة البحيرات الاستوائية، وبراكين حوض البحر الأبيض المتوسط، وبراكين البحر الكاريبى، وبراكين جزيرة أيسلند.

(ب) الجبال الصدعية *Faulted Mountains* :

قد تتكون بعض السلاسل الجبلية بفعل حركات التصدع التى تتعرض لها صخور القشرة الأرضية. ويعد الحوض العظيم فى جبال الروكى بغرب الولايات المتحدة أظهر مثال لهذا النوع من الجبال الصدعية التى تحصر بينها

أحواض صدعية هابطة. ومن ثم يطلق الجيولوجيون على المظهر التضاريسى العام للجبال الصدعية اسم «ظاهرات الأحواض والسلاسل الجبلية الصدعية» *Basin and Range Topography*.

وقد ميز الباحثون نوعين رئيسيين من الحافات الصخرية تتمثل بتلك السلاسل الجبلية الصدعية هما :

أ - الحافات الصدعية *Fault Scarps* : ويقصد بها تلك الجبال والحافات الصخرية التى نتجت أساساً بفعل (الصدوع) ونشأت على طول أسطح الصدوع *Fault planes* وتقع مباشرة عندها.

ب - حافات أسطح الصدوع *Fault Line Scarps* : ويقصد بها تلك الجبال والحافات الصخرية التى نتجت أساساً بفعل عوامل التعرية والتجوية على طول أسطح الصدوع أو بجوارها ثم أصبحت تقع بعيدة عن أسطح الصدوع تبعاً لتراجعها الخلفى بفعل عوامل التعرية.

ومن ثم فإن الحافات الصدعية تتكون خلال حدوث عمليات التصدع نفسها وتقف عالية فى نفس سطح الصدع، فى حين تتشكل حافات وجبال أسطح الصدوع أساساً بعد حدوث التصدع بمدة من الزمن تكون قصيرة أو طويلة تبعاً لمدى فعل عوامل التعرية وإختلاف التركيب الصخرى للمنطقة ومن ثم تتراجع الحافة الصدعية الى الوراء حتى تظهر حافات الصدوع بعيدة عن إمتداد سطح الصدع نفسه. ومن بين أظهر السلاسل والحافات الجبلية الصدعية فى الحوض العظيم بالولايات المتحدة الأمريكية أجزاء كبيرة من سلاسل سيرانيفادا وسلاسل ستينز *Stens Mts.* وسلاسل واساتش *Wasatch*.

جـ - الجبال والسلاسل الالتوائية *Uplifted Mountains* :

تعد الجبال الالتوائية المرفوعة أهم مجموعة من مجموعات السلاسل الجبلية فوق سطح القشرة الأرضية تبعاً لإمتداداها الكبير وتشكيلها أجزاء واسعة من سطح الأرض. وتختلف مجموعة الجبال الالتوائية المرفوعة (الطيية) عن

المجموعتين السابقتين من الجبال الأخرى حيث أن نشأتها لا ترجع الى أثر انبثاق مصهورات لافية أو رفع كتل صخرية وهبوط أخرى بفعل الصدوع العادية والعكسية الزاحفة، ولكن تبين أن هذه المجموعة من الجبال تكونت صخورها أصلاً فى أحواض بحرية تكتونية كبرى (ومن ثم تتميز صخور الجبال الإلتوائية بسمكها الكبير) وبعدها تعرضت لعمليات رفع تكتونية أدت الى ثنى الطبقات الصخرية والتوائها.

وتختلف الجبال والسلاسل فيما بينها من جزء الى آخر فوق سطح القشرة الأرضية ويعزى هذا الاختلاف أساساً الى ما يلى :

١ - إتساع الأحواض البحرية التكتونية والتى تجمعت فيها رواسب ومواد هذه الجبال، وتتشكل سمك الطبقات الصخرية وتكوينها الجيولوجى العام تبعاً لظروف تراكمها فوق أرضية الأحواض البحرية التكتونية *Geosynclines*.

٢ - مدى قوة الحركات التكتونية التى أدت الى رفع الطبقات الصخرية والتوائها وتمعجها والأزمنة الجيولوجية المختلفة التى حدثت خلالها تلك الحركات. ويلاحظ أن حركات الرفع التكتونية التى حدثت خلال أزمنة جيولوجية قديمة قد أعطت الفرصة لعوامل التعرية المختلفة أن تنحت هذه الجبال وتشكلها بظواهر متنوعة، فى حين تلك التى حدثت حديثاً لم تقدم الوقت اللازم لعوامل التعرية لكى تقوم بمثل العمل الذى قامت به فى تشكيل السلاسل الجبلية الالتوائية القديمة جيولوجياً.

ثانياً : التلال

تختلف التلال *Hills* عن الجبال *Mountains* من حيث الحجم والارتفاع بالنسبة لسطح الأرض المجاورة وإن كانتا قد تتفقا معاً من حيث الشكل العام. فالتلال عبارة عن أراضى شبه هرمية أو قبابية الشكل تبدو أعلى منسوباً من سطح الأرض المجاورة لها، (حسب دراسات الأستاذ جيكى *Geikie*) . أما الأستاذ فان ريبر *J. E. Van Riper* فأوضح بأن منسوب التلال يتراوح من

٢٠٠ الى ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأرض المجاورة وتزيد درجة انحدار جوانبها عن خمس درجات.

وقد أوضح الأستاذ ستامب *D. L. Stamp* فى عام ١٩٦١ بأن الحد الفاصل والمميز بين كل من الجبال والتلال غير واضح تماماً، ولكن يطلق تعبير «جبال» على الأراضى التى يزيد منسوبها عن ٢٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها، وإذا انخفض منسوبها عن ذلك فتدخل فى نطاق «التلال». وقد تظهر التلال كوحدات منعزلة أو على شكل مجموعات شبه متصلة مع بعضها البعض، ومن ثم تبدو كسلاسل تلالية محدودة الارتفاع وكثيراً ما تكون مقطعة بفعل عوامل التعرية وتحتل أقدام السلاسل الجبلية الكبرى.

أما الهضاب *Plateaux* فهى كذلك أراضى مرتفعة المنسوب فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها. ولكن من أهم ما يميز الهضاب هو أن سطحها العلوى يكاد يكون مستوياً أو قليل التضاريس وواسع الامتداد بالنسبة لارتفاع الهضبة الرأسى المحدود (المسافة الرأسية المحصورة بين أقدام الهضبة وأعاليها).

نشأة التلال :

تحتل التلال عادة النطاق الفاصل بين السلاسل الجبلية العالية والسهول المستوية السطح المنخفضة المنسوب، ولكن قد تظهر بعض مجموعات التلال كذلك فوق الأرضى السهلية، وتعزى نشأة معظم التلال الى ما يلى :

١ - حدوث حركة ارتفاع تكتونية فى منطقة ما، فى نفس الوقت الذى تتعرض فيه أراضى تلك المنطقة لفعل التعرية الشديدة، ومن ثم لا ترتفع تلك الأراضى بأكثر من ٢٠٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة وتبدو على شكل تلال.

٢ - تعرض المناطق الجبلية القديمة العمر الجيولوجى لعوامل التعرية المختلفة خلال فترات جيولوجية طويلة، ومن ثم لا يظهر فى النهاية سوى جذور

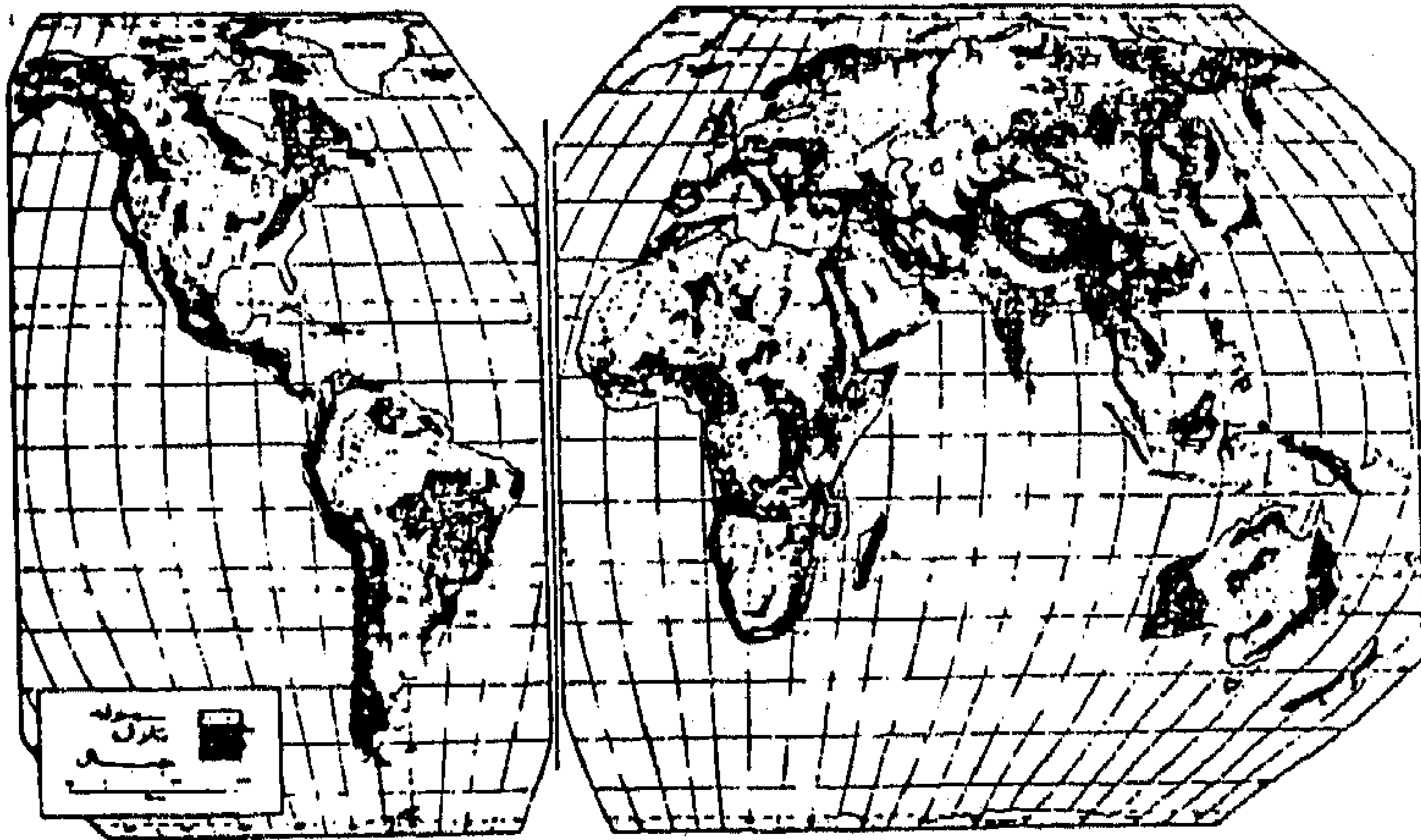
الجبال التى تبدو على شكل مجموعات متناثرة من التلال. وعلى ذلك يلاحظ أن لمعظم السلاسل الجبلية مقدمات من مجموعات التلال تعرف باسم *Foot Hills*، وقد كانت هذه التلال عبارة عن مناطق جبلية إبان مراحل نشأتها الأولى، ولكن بحكم موقعها على هوامش المناطق الجبلية تعرضت كثيراً لفعل عوامل التعرية (شكل ٥٨).

تصنيف مجموعات التلال :

لا تتنوع مجموعات التلال فيما بينها من حيث المظهر الجيومورفولوجى فقط بل كذلك من حيث ظروف نشأتها والعوامل التى أدت الى تكوينها وعلى أساس هذه العوامل الأخيرة يمكن أن نميز مجموعات التلال الآتية :

١ - التلال التى تتمثل فوق الكتل القارية القديمة جيولوجياً :

تعد مجموعة التلال التى تتمثل فوق أجزاء الكتل القارية القديمة جيولوجياً



(شكل ٥٨) التوزيع الجغرافى العام لكل من السهول والتلال والجبال فوق سطح الأرض

أكثر مجموعات التلال إنتشاراً فوق سطح الكرة الأرضية. وكما سبقت الإشارة من قبل تتركب هذه الكتل القارية أساساً من صخور نارية ومتحولة قديمة العمر الجيولوجى، وظلت بنية تلك التكوينات شبه مستقرة خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل، وإن كانت بعض أجزائها قد تعرضت لحركات رفع تكتونية فيما قبل العصر الكمبرى وخلال الزمن الجيولوجى الأول. وقد عملت عوامل التعرية المختلفة على تعديل مظهر تلك الكتل القارية ونحت صخورها وتسوية تضاريسها، إلا أن الصخور الأشد صلابة قاومت فعل عوامل التعرية واستطاعت أن تبقى على شكل تلال صخرية منعزلة ومن ثم أصبحت تمثل بقايا هياكل المرتفعات القديمة التى كانت تتمثل فوق أسطح تلك الكتل القارية فيما قبل العصر الكمبرى

٢ - التلال التى تتمثل بالمناطق الجبلية التى تآكلت بعض أجزاء من صخورها الرسوبية :

تتمثل فوق سطح القشرة الأرضية مناطق واسعة تتألف من طبقات صخرية رسوبية بعضها صلبة وأخرى لينة ومتراكبة فوق بعضها البعض. وعند تعرض هذه المناطق لحركات رفع تكتونية بسيطة ينجم عن ذلك ارتفاع منسوب السطح من ناحية، وشدة عمليات النحت الرأسى النهرى من ناحية أخرى. وخلال المراحل الأولى من تقطع الصخور المختلفة الصلابة بفعل التعرية النهرية تتكون تلال هرمية الشكل تنفصل فيما بينها بواسطة خوانق نهرية عميقة، ومن ثم يبدو السطح شديد التضرس *Coarse texuture of dissction* وخلال مراحل متتالية يشتد فعل النحت الرأسى النهرى ويزداد تعمق الأودية التعرية كما يظهر أثر فعل التعرية الجانبية وتتآكل جوانب التلال بالتدريج. وعند نهاية مراحل التطور الجيومورفولوجى للمظهر التضاريسى لهذه المنطقة، تبدو مجموعات التلال على شكل قباب شبه مستديرة الشكل ومستوية السطح، أو بمعنى آخر أقل تضرساً عما كانت عليه فى بداية تكوينها. ومن بين أمثلة مجموعات هذه التلال، تلك التى تميز مقدمات القسم الجنوبى الشرقى

والشمالى الشرقى من مرتفعات الإبلاش. وبعض مجموعات التلال فى جنوب أوربا، والتلال التى تظهر عند مقدمات مرتفعات أورال فى روسيا.

٣ – التلال فى مناطق الكارست [1] الجيرية :

تتلخص أهم العوامل التى تساهم فى تكوين أقاليم الكارست الجيرية فيما يلى :

أ – زيادة سمك الطبقات الجيرية المختلفة.
ب – ارتفاع مسامية الصخور وإتساع الفراغات بين حبيباتها.
جـ – تأثر الصخور بفعل الشقوق والفواصل والفوالق التى سرعان ما تتسع فتحاتها بفعل التجوية وعوامل التعرية.
د – وقوع أقاليم الكارست فى مناطق رطبة تسقط عليها كميات كبيرة من الأمطار أو فى مناطق شبه جافة بشرط أن تنحدر الى الصخور الجيرية للإقليم مياه جوفية بكميات كبيرة مهما كان مصدرها. ولكن يمكن القول أنه كلما زادت كمية التساقط فوق صخور إقليم ما، أدى هذا الى سرعة انجاز عمليات التجوية الكيميائية فى الصخور الجيرية وتشكيلها بظواهر الكارست الجيرية. وفى هذه الأقاليم الجيرية كثيراً ما تعمل المياه السطحية والجوفية على إذابة أجزاء واسعة من الصخور الضعيفة التماسك فى حين قد تتبقى فوق سطح الأرض بعض الكتل الجيرية التلالية، والتى استطاعت مقاومة عمليات الإذابة والتحلل تبعاً لشدة صلابتها النسبية. ويطلق على هذه الكتل اسم التلال المنعزلة وتعرف بأسماء مختلفة منها همز *Hums* فى يوغسلافيا، وموجوتز *Mogotes* فى جزيرة كوبا، وتلال بيبينو *Pepiono* فى بورتوريكو وتلال المسخوطين فى الجزائر.

---

(١) سميت المناطق الجيرية التى يظهر فيها أثر فعل عوامل التعرية والتجوية الكيميائية بشدة باسم «أقاليم الكارست»، وذلك تبعاً لأظهر إقليم جيومورفولوجى جيرى فى العالم والمعروف باسم «الكارست» فى يوغسلافيا.

٤ - التلال التى تظهر على جانبى الأودية النهرية وبأعالى الحافات الصخرية المتوازية الامتداد :

قد تشاهد مجموعات أخرى من التلال على جوانب الأودية النهرية إذا ما استطاعت صخور هذه التلال أن تقاوم فعل النحت الرأسى والنحت الجانبى للأنهار. وتختلف أشكال التلال فى هذه الحالة تبعاً للتركيب الصخرى ونظام بنية الطبقات من ناحية ومراحل تطورها الجيومورفولوجى من ناحية أخرى. كما قد تظهر التلال كذلك مجاورة لأقدام الحافات الصخرية المتوازية *Parallel Ridges*، بل قد تظهر أحياناً فوق أعالى هذه الحافات. وتعزى نشأتها أساساً الى تباين فعل التعرية وتقطع جوانب الحافات وأعاليها بالأودية الجبلية القديمة المتوسطة المنسوب فوق مستوى سطح البحر.

ثالثاً : الهضـــاب

من الصعب تحديد إرتفاع الهضاب تبعاً لمنسوب معين فوق مستوى سطح البحر، ولكن يقصد بتعبير «هضاب» مناطق واسعة من سطح الأرض ترتفع فوق مستوى سطح الأراضى المجاورة لها وتتميز بأن أسطحها العليا شبه مستوية السطح وأن جوانبها شديدة الانحدار وتبدو حائطية الشكل فى معظم الأحيان. وعلى ذلك تختلف الهضاب فيما بينها من حيث الشكل التضاريسى العام والحجم والامتداد والتكوين الجيولوجى لصخورها والنشأة والتطور الجيومورفولوجى. وعلى أساس اختلاف نشأة الهضاب وظروف تكوينها يمكن أن نميز المجموعات الهضبية الكبرى الآتية :

أ - الهضاب البركانية *Volcainc Plateaux* :

تظهر بعض الهضاب فوق سطح الأرض أحياناً وهى تتألف من مصهورات ومواد لافية انبثقت من باطن الأرض ويعزى ظهورها على شكل غطاءات لافية هضبية الى خروج اللافا واندفاعها من باطن الأرض خلال فتحات وشقوق كثيرة وفوهات متعددة ومن ثم لا تتجمع اللافا من فوهة واحدة

لتكون ظاهرة المخروط البركانى بل تنحدر اللافا فوق سطح الأرض وتتجه من المنحدرات العليا الى المناطق السفلى وتغطى الأرض بفرشة سميكة من الطفوح البركانية، ويتوقف اتساع هذه الضهاب البركانية تبعاً لمدى حجم المصهورات اللافية التى تندفع من باطن الأرض من ناحية، ومدى توالى حدوث الثورانات البركانية أو استقرارها، وانخمادها من ناحية أخرى. ويطلق الأستاذ بولارد *F. M. Bullard* [1] على عملية انبثاق المصهورات اللافية خلال الشقوق الصخرية الكثيرة اسم نوع ثورانات أيسلند البركانية *Icelandic Type* حيث تتمثل أظهر أمثلة هذا النوع من الهضاب البركانية فوق أجزاء واسعة من جزيرة أيسلند.

ومن أظهر أمثلة هذه المجموعة من الهضاب تلك التى تتمثل فى جزيرة أيسلند، والهضاب البركانية الواسعة الامتداد فى حوض كولومبيا فى شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية. وتنتشر الهضاب البركانية (فى هذه المنطقة الأخيرة) فى أجزاء واسعة من ولايات واشنجتن، وأوريجون، وكاليفورنيا، وإيداهو، وتغطى مساحة تزيد عن ٢٠٠,٠٠٠ ميل مربعاً، وهضاب شيلى البركانية التى تشمل مناطق واسعة من جنوب غرب أمريكا الجنوبية.

ب - الهضاب الصدعية *Faulted Plateaux* :

تنشأ الهضاب الصدعية أساساً بفعل الصدوع ولا تؤثر الأخيرة فى تقسيم الطبقات الصخرية داخل الهضاب الصدعية وزحزحتها فقط، بل تكوين جوانب الهضاب على طول الأسطح الكبرى للصدوع. وتختلف هضاب هذه المجموعة فيما بينها من حيث الحجم، والأزمنة الجيولوجية التى تكونت خلالها، وخصائصها الجيومورفولوجية العامة، ومن أظهر أنواع الهضاب

---

(1) Bullard, F. M., "Volcanoes in history in theory and eruption", Univ. Texas Press, (1972).

مجموعة الهضاب الصدعية المرفوعة أو الضهور الصدعية *Horsts* وتتكون هذه المجموعة من الهضاب تبعاً لتعرضها لصدوع مركبة متشابهة الاتجاه ومتجاورة لبعضها البعض بحيث تؤدى الى رفع بعض أجزاء من الكتل الصخرية ورميها الى أعلى وظهورها على شكل هضاب صدعية أعلى منسوباً عما يجاورها من أراضى وتعرف باسم الضهور الصدعية المرفوعة *Horsts*. فى حين تنخفض الكتل الصخرية التى رميت الى أسفل وتظهر على شكل أحواض صدعية منخفضة المنسوب تعرف باسم الأغوار الصدعية الهابطة *Grabens* . وتبعاً لرمى أجزاء الكتل الصخرية الى أعلى وإلى أسفل بفعل هذه الصدوع، يطلق عليها بعض الجيولوجيين اسم الكتل الأخدودية أو الكتل المرفوعة الصدعية *Rift Blocks or Uplifted Blocks* .

ومن بين أحسن أمثلة هذه المجموعة من الهضاب تلك التى تنحصر بين أجزاء الأخدود الأفريقى فى شرق أفريقيا وكذلك هضاب حوض نهر الأردن وخاصة هضبة فلسطين على الجانب الغربى لأخدود البحر الميت وهضبة الأردن على الجانب الشرقى منه. كما تتمثل هذه المجموعة من الهضاب كذلك فى معظم هضاب وادى ديث *Death Valley* وفى هضاب القسم الأوسط من ولاية تكساس فى أمريكا الشمالية، وهضاب غور الرين الصدعى فى أوربا، وهضبة الفوج *Vosges* الى الغرب من غور الرين الصدعى، وهضبة شوارزفيلد *Schwarzwald* (الغابة السوداء)، الى الشرق منه.

الباب الثالث

النظــام الغــازى (الجــوى)

الفصل العــاشــر : الخصائص العامة للنظام الغازى وطبقاته الرأسية.

الفصل الحادى عشر : الاشعاع الشمسى وحرارة الهواء.

الفصل الثـانى عشر : الضغط الجوى.

الفصل الثـالث عشر : الرياح وأنواعها.

الفصل الرابــع عشر : الكتل الهوائية والإنخفاضات الجوية والزوابع المدارية.

الفصل الخامس عشر : الرطوبة والتبخر والنتح والتكاثف ومظاهره فى النظام الغازى.

الفصل السادس عشر : الأقاليم المناخية فى العالم.

الفصــل العاشــر
الخصائـص العـامـــة
للنظام الغازى وطبقاته الرأسية

النظام أو الغلاف الجوى (الغازى) عبارة عن غطاء سميك من الغازات يحيط بالكرة الأرضية من جميع الجهات ويتراوح سمكه من ١٠٠ الى أكثر من ٢٠٠ ميلاً. ومن المعلوم أن الهواء *Air* لا لون له ولا رائحة ولا طعم له كذلك، كما لا يشعر الإنسان بالهواء إلا عند تحركه، ويسمى فى هذه الحالة بالرياح *Wind*. ويتميز الهواء بقدرته على الحركة *Mobil* وقابليته للمرونة *Elastic* والإنضغاط *Compressible* والتمدد *Expansible*، كما ينقل الهواء الموجات المنضغطة *Compression Waves*. والغلاف الجوى شفاف *Transparent* بالنسبة للأنواع المختلفة من الإشعاع الشمسى التى تخترقه. وعلى الرغم من أن الهواء أقل كثافة من المياه ومن صخور الأرض، إلا أن له وزن ويتولد عنه ضغط تبعاً لمدى ثقله. وحيث أن الطبقات السفلى من الغلاف الجوى تنضغط بدرجة أكبر من تلك فى طبقاته العليا، فإن كثافة الهواء تقل بسرعة مع الإرتفاع عن سطح الأرض [(١)].

ويقدر العلماء وزن الكتلة الإجمالية للغلاف الجوى بنحو ٥٦×١٠^{١٤} طن ويلاحظ أن نصف هذه الكتلة الهوائية لا تبعد عن سطح الأرض بأكثر من ١٨,٠٠٠ قدم [(٢)] ، بل إن أكثر من ٩٩٪ من جملة كتلة الغلاف الجوى لا تبعد

---

(1) Howard, J. Crithfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J. 2end edi (1966) p. 8-13.

(2) Barry R. G. and Chorley, R. J., "Atmosphere, weather and Climate", Methuen, London (1969), p. 17-20.

بأكثر من ٢٠ ميلاً فقط من سطح الأرض. ويحمى الغلاف الجوى سطح الكرة الأرضية من تساقط الشهب والنيازك من الفضاء الخارجى حيث ينتج عن إحتكاك هذه البقايا الكونية الساقطة بالغلاف الجوى إحتراقها قبيل وصولها على سطح الأرض. وبدون الغلاف الجوى حول الكرة الأرضية تنعدم الحياة على سطح الأرض، حيث إن الهواء هو مصدر تكوين السحب وهبوب الرياح والعواصف وسقوط الأمطار، وتكوين الموارد المائية على سطح الأرض، كما أن بعض غازات الهواء (الأكسچين) يعتمد عليه كل من الإنسان والحيوان فى عمليات التنفس (١) . هذا وينظم الغلاف الجوى القوة الكاملة *Full Force* للإشعاع الشمسى الساقط على الأرض، كما يمنع الفقدان الكلى للإشعاع الأرضى المرتد من سطح الأرض الى أعالى الغلاف الجوى. ومن ثم ينظم الغلاف الجوى درجات الحرارة بحيث تصبح مناسبة تماماً لحياة الإنسان وإذا ما تخيلنا عدم وجود الغلاف الجوى حول الأرض لإرتفعت درجة حرارة سطح الأرض الى نحو ٢٢٠ْ ف أثناء النهار، وإنخفضت هذه الحرارة الى أقل من - ٣٠٠ْ ف أثناء الليل، ويصبح المدى الحرارى اليومى كبيراً جداً مثل ذلك الذى يتمثل فوق بعض كواكب المجموعة الشمسية، وتحت هذه الظروف الأخيرة تنعدم الحياة البشرية على سطح الأرض (٢) .

ويجدد الغلاف الجوى نفسه سنوياً وبصورة تدريجية عن طريق تصاعد الغازات الباطنية الأولية (أى التى تظهر على سطح الأرض لأول مرة) عند إنبثاق المصهورات البركانية على سطح الأرض (يلاحظ أن فعل النشاط البركانى كان كبيراً خلال حدوث الحركات التكتونية الكاليدونية والهرسينية والألبية خلال فترات التاريخ الجيولوجى الطويل) .

---

(1) Herbert Riel, "Introduction to atmosphere", Mc Graw-Hill, N. Y. (1972), p. 3-30.

(2) Byers, H. R., "General meteorology", Mc Graw-Hill, N. Y. 3ed edi (1959), p. 7.

ويتألف الغلاف الجوى أساساً من أربعة غازات هى النتروجين والأكسجين والأرجون وثانى أكسيد الكربون حيث تكون هذه الغازات أكثر من ٩٩,٩ ٪ من جملة حجم الهواء ويكاد يؤلف النتروجين نحو ٧٨ ٪ من حجم الهواء فى حين يكون الأكسجين نحو ٢١ ٪ من حجم الهواء. أما الغازات النادرة التى يتألف منها الغلاف الجوى فتتمثل فى النيون *Neon* ، والهليوم *Helium* والميثان *Methane* والكريبتون *Krupton* والهيدروجين *Hydrogen*. ويوضح الجدول الآتى أهم غازات الغلاف الجوى ونسبتها المئوية بحسب الحجم *Volume* والوزن *Weight* بالنسبة لمجموع غازات الغلاف الجوى (١).

الغـــــــــــازات	نسبتها المئوية بحسب جملة الحجم	نسبتها المئوية بحسب جملة الوزن
النتروجين N_2	٪ ٧٥,٥٢٧	٪ ٧٥,٥٢٧
الأكسجين O_2	٪ ٢٣,١٤٣	٪ ٢٣,١٤٣
الأرجون A	٪ ١,٢٨٢	٪ ١,٢٨٢
ثانى أكسيد الكربون CO_2	٪ ٠,٠٤٥	٪ ٠,٠٤٥
المجموع	٪ ٩٩,٩٩٧	٪ ٩٩,٩٩٧

ولا يتركب الغلاف الجوى من الهواء فقط، بل يدخل معه أيضاً نسب مختلفة من بخار الماء *Water vapour*، وتختلف نسبة وجود بخار الماء فى الهواء من كميات محدودة جداً الى ما يقدر بنحو ٤ ٪ من جملة وزن الهواء وذلك عندكما يكون الهواء مشبعاً بالرطوبة. وقد يظهر بخار الماء على شكل

(1) a- Herbret Riehl, "Introduction to the atmosphere", Mc Graw-Hill, N. Y. (1972), p. 19.

b - Byers, H. R., "General meteorology" Mc Graw-Hill, N. Y., 3rd edi edit. (1959), p. 21.

صور مختلفة منها الغاز والسائل والصلب، كما أنه هو مصدر عمليات التساقط.

ويدخل في تركيب الغلاف الجوى كميات كبيرة كذلك من المواد الصلبة ممثلة في حبيبات الأتربة الدقيقة الحجم *Dust particles* والغبار البركاني والرمال الدقيقة الحجم وذرات الدخان، وتبدو كل هذه الأتربة معلقة في الهواء *in suspension* وتختلف كمياتها إختلافاً كبيراً من منطقة الى أخرى [١]. وقدر العلماء مقدار تجمع هذه الأتربة الدقيقة الحجم فوق المسطحات المائية المحيطية بنحو عدة مئات من حبيبات الأتربة الدقيقة الحجم لكل سنتيمتر مكعب من الهواء. ولا ترى هذه الأتربة بالعين المجردة، وذلك لأن القسم الكبير منها شبه ميكروسكوبى الحجم، وتعمل الأتربة على إمتصاص جزء من الإشعاع الشمسي *Solar insolation* وكعامل مساعد لعمليات الانعكاس *Reflection* وإنتشار الأشعة *Scattering* وحفظ الإشعاع الأرضى *Terrestial Radiation* داخل طبقة التروبوسفير [٢].

وتساعد ذرات الأتربة بخار الماء عند حدوث عمليات التكاثف *Condensation*، ومن ثم فإن هذه العمليات الأخيرة يتركز حدوثها في الطبقات السفلى من الغلاف الجوى تبعاً لوفرة نوايات التكاثف من ذرات الأتربة العالقة بالهواء [٣].

الأقسام الرأسية للغلاف الجوى :

من الصعب أن يحدد العلماء بشيء من الدقة الإمتداد الرأسي للغلاف الجوى، ويعزى ذلك الى عدم وجود حدود فاصلة تميز بين كل من النهايات

(1) Blair T. A., "Weather elements", Fourth edition, Englewood Ciffs, Prentice Hall, N. J. (1960), p. 6-7.

(2) Howard, J. Critichfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J. 2nd edi. (1966) p. 10.

(٣) محمود حامد محمد ،المتيورولوجية، القاهرة (١٩٤٦) ص ٧٠ – ٤٧٢.

العليا للغلاف الجوى من جهة، وبداية الفضاء الخارجى *Outer Space* الذى يقع خلفه من جهة أخرى، وعلى أساس الإختلاف الرأسى فى درجات الحرارة ومكونات الغلاف الجوى وأنواع غازاته قسم العلماء الغلاف الجوى الى أربع طبقات رئيسية تتمثل فيما يلى (شكل ٥٩) :

١ - طبقة التروبوسفير *Troposphere* :

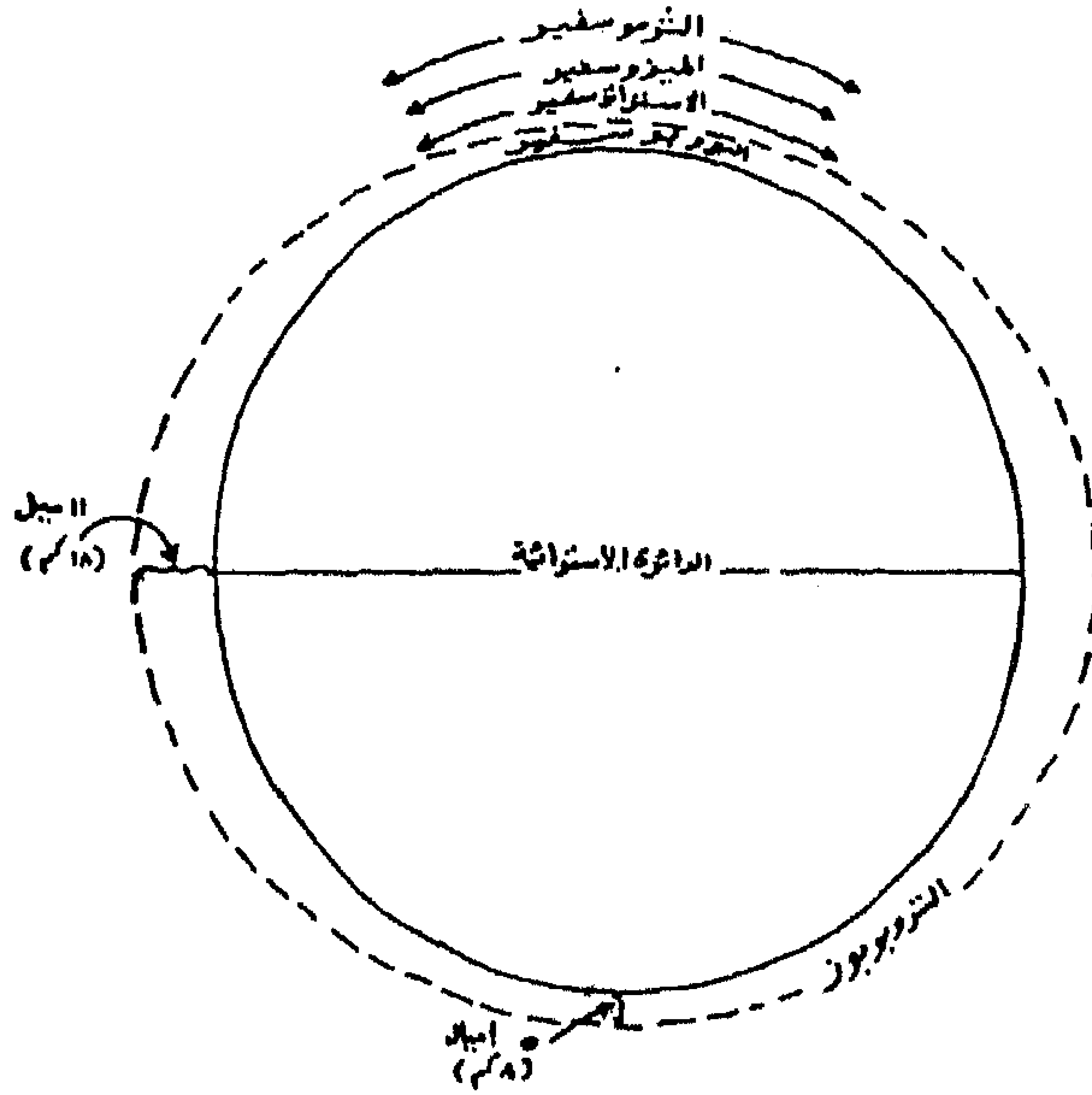
تعتبر هذه الطبقة هى القسم الأسفل من الغلاف الجوى الذى يلامس سطح الأرض، ولكن يختلف سمك هذه الطبقة الهوائية السفلى من خمسة أميال عند القطبين الى أحد عشر ميلاً عند المناطق المدارية. ويعزى زيادة سمك التروبوسفير عند المناطق المدارية الى حدوث عمليات تيارات الحمل الصاعدة فى هذه المناطق، وتعد طبقة التروبوسفير منطقة نشوء كل من السحب والعواصف والتيارات الصاعدة والأمطار والتساقط، ومن ثم فهى من أهم طبقات الغلاف الجوى بالنسبة لعمل كل من المتيورولوجى وعالم المناخ [1].

ومن بين مميزات طبقة التروبوسفير أن درجة الحرارة تنخفض فيها إنخفاضاً تدريجياً وشبه منتظم مع الإرتفاع عن سطح الأرض وذلك بمعدل ١° لكل ١٠٠٠ متر الى أن تبلغ درجة حرارة الهواء نحو - ٧٠° الى - ٨٠° ف من القسم الأعلى من التروبوسفير والذى يعرف باسم طبقة التروبوز *Tropopause* [2]. وتتعرض الأطراف العليا من طبقة التروبوسفير لتيارات هوائية شديدة السرعة، أطلق عليها العلماء اسم «التيارات النفاثة» *Jet Streams* وتعمل الطائرات الحديثة التى تحلق عند مثل هذه الإرتفاعات العالية على تجنب الطيران فى عكس إتجاه هذه التيارات النفاثة.

---

(1) Blair, T. A., "Weather elements", 4th edi, Prentice-Hall, N. J. (1960), p. 2-3.

(2) Howard J., Critichfield, "General Climatology", Prentice-Hall N. J. 2nd edi (1960), p. 11.



(شكل ٥٩) الطبقات الرأسية للغلاف الجوى

٣ - طبقة الاستراتوسفير *Stratosphere* :

تقع هذه الطبقة فوق طبقة التروبوسفير التى سبقت الإشارة إليها من قبل، ولا يتعرض هواء الاستراتوسفير إلا لتغيرات بسيطة فى درجة حرارته ويمكن أن نشبه هواء طبقة الإستراتوسفير بالهواء الشتوى فى المناطق القطبية الى حد كبير.

ويطلق العلماء على النهايات العليا لطبقة الإستراتوسفير اسم «طبقة الإستراتوبوز» *Stratopause*. ويقدر سمك طبقة الإستراتوسفير - فيما بين الأطراف العليا لطبقتى التروبوبوز والاستراتوبوز - بنحو ١٥ ميلاً(١).

(1) Hare, F. Kenneth, "The Stratosphere", Geog. Rev. vol. 52, Part 4 (1962) p. 525-547.

٤ – ٥ طبقة الميزوسفير وطبقة الميزوبوز *Mesosphere* :

تقع هذه الطبقة الهوائية فيما وراء الأطراف العليا لطبقة الاستراتوبوز، وترتفع درجة حرارة الهواء فى القسم الأسفل منها، ثم سرعان ما تنخفض درجة الحرارة بالتدريج مع الإرتفاع الى أعلى حتى النهايات العليا لطبقة الميزوسفير والمعروفة باسم طبقة الميزوبوز *Mesopause* . وتبعد هذه الطبقة الأخيرة عن سطح الأرض بإرتفاع يتراوح من ٤٥ – ٥٠ ميلاً. ويرجع الفضل الى هذه الطبقة الهوائية فى حدوث عمليات إحتراق بقايا الشهب والنيازك الساقطة من الفضاء الخارجى والمتجهة الى سطح الكرة الأرضية. ونتيجة لإحتراق بقايا الشهب، ترتفع درجة حرارة الهواء فى القسم الأسفل من الميزوسفير (شكل ٦٠).

٦ – طبقة الثرموسفير *Thermosphere* :

أكدت الدراسات المتيورولوجية الحديثة للطبقات العليا من الغلاف الجوى

(شكل ٦٠) سمك الطبقات الرأسية للغلاف الجوى وبعض ظواهرها الجوية

بأن هواء طبقة الثرموسفير يتميز بإرتفاع درجة حرارته، بل قد تصل درجة حرارة الهواء هنا الى نحو ٢٠٠٠° ف، ثم تزداد درجة حرارة الهواء تدريجياً مع الإرتفاع داخل نطاق هذه الطبقة الهوائية التى يصعب كثيراً تحديد أطرافها العليا. ومن ثم يختلف التغير الرأسي فى درجة حرارة الهواء هنا عنه فى طبقة التروبوسفير القريبة من سطح الأرض.

ويطلق على القسم الأسفل من طبقة الثرموسفير اسم طبقة الأينوسفير *Ionospere* أو طبقة الأثير، ويقدر العلماء سمك هذه الطبقة الأخيرة بنحو ٢٠٠ ميلاً وتبعد أطرافها السفلى عن سطح الأرض بنحو ٥٠ ميلاً، فى حين تبتعد أطرافها العليا عن سطح الأرض بنحو ٢٥ ميلاً(١) . وإستطاع العلماء تتحديد أبعاد هذه الطبقة الهوائية بفضل تركز الجزيئات الأيونية فيها *Ionized Particles*، وأثرها على إنعكاس الموجات اللاسلكية الكهرومغناطيسية.

تلوث الغلاف الجوى :

يختلف التركيب الكيميائى للغلاف الجوى للأرض عنه فى بقية كواكب المجموعة الشمسية. وقد أسهم هذا الغلاف بتركيبه المميز فى تكوين الغلاف المائى وفى ظهور الحياة النباتية والحيوانية وإستمرار حياة الإنسان على الأرض، ولم يدرك الإنسان مقدار خطره على تغيير مكونات غازات الغلاف الجوى وتلوثه إلا منذ عصر النهضة الصناعية فى الدول الأوربية وبعد ذلك فى الولايات المتحدة الأمريكية. ومنذ ذلك الحين تميزت المدن الكبرى مثل لندن ونيويورك والمدن الصناعية مثل برمنجهام ومانشستر وشيفيلد وليدز وليفربول وجلاسجو فى بريطانيا ومدن إقليم الروهر الصناعى فى ألمانيا ومدن ديترويت وبتسبرج وكليفلاند وفيلادلفيا فى الولايات المتحدة الأمريكية بكثرة تعرضها للضباب الأسود القاتل ولزيادة تلوث هواء هذه المدن بالغبار والدخان

---

(1) Howard, J., Critichield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J. 2nd edi (1966) p. 12-13.

وغازات ثانى أكسيد الكربون وأول أكسيد الكبريت الناتجة عن النشاط الصناعى فيها ومن بين الكوارث التى حدثت بسبب تلوث الهواء فى المدن الصناعية ما حدث فى مدن حوض نهر الميز فى بلچيكا فى عام ١٩٣٠ وفى مدينة بنسلفانيا فى عام ١٩٤٨ وفى مدينة لندن فى عام ١٩٥٢ والذى راح ضحيته أكثر من ٤٠٠٠ حالة وفاة بسبب تراكم الضباب الأسود *Black Smog* وإستنشاق الناس للدخان الصناعى والغازات الكبريتية المركزة فى الهواء.

ويتلوث الهواء بسبب النفايات التى تستخرج عند عمليات التصنيع وللإفراط فى النشاط البشرى عند بناء المدن وتفجير أحجار الجبال والقيام بالتعدين وحرق الأخشاب. ويمكن تقسيم هذه الملوثات الى مجموعتين إحداها غازية والأخرى مواد صلبة. ومن بين الملوثات الغازية للهواء ما يلى :

أ - أول أكسيد الكربون :

وهو غاز سام عديم اللون والرائحة وينتج عن الوقود الكربونى وعمليات الاحتراق فى الجو. ويتركز هذا الغاز فى المدن الصناعية وبتلك الشديدة الإزدحام بحركة المرور ويزداد تركزه كذلك أثناء النهار بدرجة أكبر منه أثناء الليل ويؤثر هذا الغاز على عمليات التنفس لكل الكائنات الحية على الأرض(١).

ب - ثانى أكسيد الكبريت :

ينتج هذا الغاز أساساً نتيجة لعمليات إحتراق النفط والغاز الطبيعى وذلك نظراً لإحتوائهما على نسبة من الكبريت. ويتميز غاز ثانى أكسيد الكبريت برائحته الكريهة النفاذة وهو عديم اللون وتزداد خطورته على عمليات التنفس لكل الكائنات الحية عند زيادة نسبته الى ٣ جزء فى المليون وعند تحوله الى حمض الكبريتيك لتأكسده (إلى ثالث أكسيد الكبريت) وبتفاعله مع بخار الماء

---

(١) د. عزت خيرى «تلوث الهواء والماء وآثارها» ندوة الأبعاد الاقتصادية والبيئة للتنمية.. جامعة الإمارات العربية المتحدة، مارس (١٩٩٠) الجزء الثانى ص ٢٩١ - ٣٣١.

ويتسبب كذلك فى الأمطار الحمضية الضارة على سطح الأرض [١] .

جـ - أكاسيد النتروجين :

وتتكون هذه الأكاسيد عند إتحاد النتروجين والأكسجين عند درجات الحرارة العالية خاصة عند إحتراق البنزين والسولار فى المركبات والسيارات والأجهزة المولدة للطاقة فى محطات توليد القوى الكهربائية. ويكون أكسيد النيتريك وثانى أكسيد النيتروجين ما يعرف برسم الدخان الضو - كيميائى وخاصة عند إتحادهما بالهيدروكربونات المنطلقة من عادم المركبات. وعند إستنشاق نسبة عالية من أكاسيد النتروجين تلتهب الرئتين وقد يؤدى ذلك الى الموت. كما تتحد أكاسيد النتروجين مع الهيموجلوبين فى الدم وتعرقل من وصول الأكسجين الى الدم.

د - الهيدروكربونات :

وهى عبارة عن مركبات عضوية تتكون من الكربون والأكسجين ومن بينها بعض مشتقات النفط مثل الميثان والبنزول والبروبان. وعند إرتفاع نسبتها فى الجو تؤدى الى تكوين الضباب الأسود *Smog*.

هـ - الجزيئات الصلبة الملوثة للهواء :

وهذه تتألف من مواد صلبة دقيقة الحجم جداً تبدو عالقة فى الهواء ومن بينها الرمال الدقيقة الحجم والغبار والرماد البركانى والهباء الجوى *Aerosol* الذى يتألف من المواد الصلبة الدقيقة الحجم المختلطة بالغازات والمكونة للدخان والضباب. ومن بين مصادر هذه الجزيئات الصلبة بعض نفايات محطات توليد الطاقة الكهربائية ومحطات القوى الحرارية والنشاط البشرى الناتج عن الزراعة والتعدين وتكسير الأحجار فى المحاجر وخاصة صناعة

(١) د. سامح غرايبة، د. يحى الفرحان «المدخل الى العلوم البيئية» دار الشروق - عمان (١٩٧٨) ص٢٥٦.

الأسمنت والفخار والموزيك والبلاط.

وخلال فترة العشرين عاماً من عام ١٩٦٠ الى عام ١٩٨٠ ارتفع وجود هذه الملوثات التى سبقت الإشارة إليها من قبل فى الجو العالمى حيث زاد وزن أول أكسيد الكربون من $٣١^{٦}$ طن الى $٣٨^{٦}$ طن سنوياً وثانى أكسيد الكبريت من $٢٢^{٦}$ طن الى $٣٥^{٦}$ طن وأكسيد النتروجين من $١٢^{٦}$ طن الى $٢٤^{٦}$ طن سنوياً.

وفى ضوء الأضرار الجسيمة التى تسببها الملوثات فى الهواء فقد وضعت معايير دولية توضح الحد الأقصى المسموح به لكل من هذه الملوثات فى الجو والتى لا يجب العمل على تجاوزها حفاظاً على سلامة الغلاف الجوى والبيئة وحياة الإنسان.

وينبغى ألا تزيد نسبة أول أكسيد الكربون عن ٣٥ جزء فى المليون وثانى أكسيد الكبريت عن ٠,١٤ جزء فى المليون وأكاسيد الحديد عن ٠,٠٥ جزء فى المليون والهيدروكربونات عن ٢,٤ جزء فى المليون والجزيئات الصلبة عن ٢٦٠ ميكروجرام / م٣.

وقد تبين للعلماء بأن درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض على المستوى العالمى فى زيادة تدريجية مستمرة خاصة بعد عام ١٨٨٠ وقبل ذلك العام الأخير لم تكن تتعدى الزيادة العالمية فى درجة حرارة هواء الأرض أكثر من ٠,٢٥ مْ فقط لكل قرن من الزمان، غير أنه فيما بعد ذلك العام ونظراً لإنتشار المناطق الصناعية فى أرجاء واسعة من العالم وزيادة عدد المركبات والسيارات ترتفع درجة حرارة هواء الأرض بمعدل يصل الى أكثر من ٠,٥٠ مْ لكل ربع قرن من الزمان. ومع الإرتفاع المستمر لدرجة حرارة الهواء عالمياً يزداد حدوث الجفاف فى مناطق واسعة من العالم وخاصة تلك التى تقع فى المناطق الحدية للأقاليم المناخية فى العروض المدارية فى أفريقيا وشبه القارة الهندية والأمريكتين. وينتج عن إرتفاع درجة حرارة الهواء عن المعدل الذى كان سائداً من قبل زيادة سرعة إنصهار جليد المناطق القطبية ومن ثم إرتفاع مستوى سطح البحر ولا يقتصر دور الملوثات الغازية والصلبة فى الغلاف

الجوى على الإضرار بصحة الإنسان وإستمرار حياة الكائنات الحية على سطح الأرض بل أنها تؤدى الى ظاهرتين خطرتين تؤثران فى مستقبل الحياة على سطح الأرض وهما سقوط الأمطار الحمضية وحدوث ثقب في طبقة الأوزون الممثلة في طبقة الأستراتوسفير وهى الطبقة التى تحمى الأرض وما عليها من أخطار سقوط الأشعة فوق البنفسجية ووصولها الى سطح الأرض بكميات أكبر مما كانت عليه من قبل، ومن ثم تؤثر في مستقبل حياة الإنسان بل وكل الكائنات الحية على سطح هذا الكوكب.

الملوثات فى الهواء وسقوط الأمطار الحمضية :

Air pollutants and Acid Rains

تؤثر الملوثات الغازية والصلبة المنتشرة فى القسم الأسفل من طبقة التروبوسفير والهواء الملامس لسطح الأرض فى إنتشار أمراض الجهاز التنفسى وسرطان الرئة وتلوثها وأمراض القلب. ويزداد هذا الأمر خطورة فى أجواء المدن الصناعية وحول مراكز محطات توليد الطاقة الكهربائية التى تستخدم الوقود الحفرى وعندما تضعف حركة الرياح ويتميز الهواء بالسكون وبالسحب المتراكمة المنخفضة وبالإنقلاب الحرارى.

وقد أكدت الدراسات المتيورولوجية بأن تركز ثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين (الناتجة عن إحتراق البنزين والسولار فى السيارات ومحطات توليد القوى الكهربائية) فى جو المدن الصناعية يؤدى الى سقوط المطر الحمضى *Acid Rain* حيث تتساقط هذه الملوثات الغازية مع هطول المطر وسقوط الثلج. ويتسبب المطر الحمضى فى حدوث أخطار جسيمة على حياة الإنسان ومنشآته وعلى كل ما يتمثل فى البيئة التى يعيش فيها الإنسان ويعتمد عليها فى حياته اليومية. فمن بين أخطار سقوط الأمطار الحمضية تلوث مياه البحار ومياه البحيرات وإرتفاع نسبة الحموضة فى مياهها ومن ثم تتأثر الحياة البيولوجية فيها بتلك الملوثات، فتضعف الأسماك وتتعرض للأمراض بل وأحياناً للتسمم وقد تصبح غير صالحة كغذاء للإنسان. وقد نتج عن الملوثات

الغازية فى هواء القسم الغربى من الاسكندرية (حيث تتركز فى منطقة وادى القمر مصانع الأسمنت والكيماويات والحديد والصلب) وإنصبابها فى مياه بحيرة إدكو أو سقوطها مع الأمطار الى زيادة تلوث مياه هذه البحيرة مما أدى الى تدنى الإنتاج السمكى فيها، وتعرضت الحياة البيولوجية فيها للخطر وأصبحت معظم الأسماك البحيرية المصادة من هذا القسم من بحيرة إدكو غير صالحة للغذاء. كما تدنى الإنتاج السمكى السنوى من البحيرات الكبرى فى الولايات المتحدة الأمريكية (إيرى وإنتاريو وهورن ومتشجن وسوبيريويو) بسبب سقوط الأمطار الحمضية وانصباب الملوثات الغازية والصلبة فى مياه هذه البحيرات.

كما ينتج عن سقوط الأمطار الحمضية فى وسط أوربا وشمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية فى نطاقات الأقاليم الصناعية الكبرى تعرض الغابات للتدمير وتآكل أغصان الأشجار وإصفرار أوراقها وتقلص أعداد الحيوانات والطيور التى تعيش فى بيئة هذه الغابات. وقد أكدت الدراسات بأن ذبول الغابات فى حوض الروهر الصناعى فى ألمانيا وبعض غابات إقليم الألزاس واللورين وغابات واسعة من إقليم نيوإنجلند يرجع الى تكرار سقوط الأمطار الحمضية.

وتؤثر الأمطار الحمضية بصورة مباشرة فى صحة الإنسان وفى إنتشار أمراض خاصة من بينها أمراض الجهاز التنفسى والقلب والعيون وأحياناً تزايد عدد الوفيات عن معدلاتها الطبيعية. وتسهم الأمطار الحمضية كذلك فى سرعة فعل التجوية الكيميائية فى الصخور الجيرية والمواد المعدنية وفى سرعة تآكل مواد البناء وتعرض أسطح المبانى والمنشآت العمرانية (للتجوية) الكيميائية. وتسعى الدول الصناعية اليوم الى تقليل نسبة تلوث الجو بالغازات الكبريتية عن طريق تخفيض إنطلاق الكبريت من الفحم، وبتطوير الآلات والأجهزة الصناعية المختلفة للعمل على التخلص من المواد الكبريتية وتصفيتها قبل إنطلاقها فى الجو. وقد أوصى العلماء بضرورة تزويد مصانع الكيماويات والأسمنت ومحطات توليد الطاقة الكهربائية بالمداخن العالية (يصل إرتفاعها

الى ٢٠٠م) وذلك للحد من تركز الملوثات الغازية فى الجو ولتقليل الأخطار الضارة الناتجة عن سقوط الأمطار الحمضية.

ثقب الأوزون *The Ozone Hole* :

تؤثر الملوثات الغازية والصلبة فى تلوث كل من الهواء والماء والتربة وينعكس ذلك على تدهور صحة الإنسان، كما أن بعض هذه الملوثات الجوية *Air pollutants* تهدد إستمرار الحياة على سطح الأرض. وينجم عن بعض هذه الملوثات تآكل طبقة الأوزون الاستراتوسفيرى *Stratospheric Ozone layer* وهو الدرع الذى يحمى الكائنات الحية بما فيها الإنسان على سطح الأرض من التعرض لأخطار الأشعة الشمسية فوق البنفسجية. ويتمثل غاز الأوزون *Ozon (O3)* على هيئة تجمعات غازية رقيقة خفيفة الوزن جداً. وفى طبقة الأستراتوسفير يتمثل نوعان من الأشعة فوق البنفسجية تمتص نواتج التفاعلات الكيميائية حيث تعمل إحداها على تعزيز وجود الأوزون وتنشيط تجمعه فى حين تعمل الأخرى على تحلله وتدميره. وتسبب الأشعة البنفسجية التى تصل الى سطح الأرض إصابة الإنسان وبعض الكائنات الحية الأخرى بسعفة الشمس *Sunburn* وسرطان الجلد ويرمز الى هذه الأشعة بالرمز *UVB* ويتراوح طول موجاتها من ٠,٢٨ الى ٠,٣٢ ميكرومتر. وتعد العلاقة الإرتباطية بين الأشعة الحيوية فوق البنفسجية *UVB* مع طبقة غاز الأوزون علاقة عكسية فى غاية الحساسية. فقد تبين للعلماء بأنه عند نقص أو تدنى تجمعات الأوزون بنحو ١ ٪ من وزنه يؤدى ذلك فى نفس الوقت الى زيادة الأشعة فوق البنفسجية الحيوية *UVB* التى تخترق الدرع الأوزونى *The Ozone Shield* بنسبة ٢ ٪ من شدتها. وعند وصول هذه الأشعة فوق البنفسجية الى سطح الأرض يصاحبها عادة حدوث الغيوم والتغبر *Dustiness*. وأكدت الدراسات بأنه عند تناقص درع الأوزون بنسبة ٢,٥ ٪ من وزنه يؤدى ذلك الى زيادة الإصابة بسرطان الجلد بنسبة ١٠ ٪ عن المعدل العام لحدوثه. وفى ربيع ١٩٩٠ أكدت إحدى محطات الأرصاد الجوية الواقعة فى مرتفعات الألب السويسرية بأن موجات الأشعة البنفسجية الحيوية *UVB* قد زادت فى القسم

الأسفل من طبقة التروبوسفير بنسبة ١ ٪ عما كانت عليه فى عام ١٩٨١ .

وقد تبين للعلماء بأن مركبات الكلوروفلوروكربون *Chlorofluorocarbon* تعد أخطر التهديدات المباشرة لتجمعات غاز الأوزون فى طبقة الأستراتوسفير. ومن المعروف أن الإنسان يستخدم هذه المركبات فى صناعة غازات التبريد وفى صناعة البرادات وأجهزة التكييف الهوائى وأجهزة تنظيف الآلات الإلكترونية وكذلك فى صناعة حفظ المواد الغذائية وتعليبها. كما تستخدم مركبات الكلوروفلوروكربون فى صناعة الأبخرة المضغوطة وزجاجات العطور ورش الأيروسول *Aerosol Spray* ومواد إزالة رائحة العرق *Deodrants* ورش الشعر وتثبيته *Hair Spray* .

ومنذ عام ١٩٧٤ حذر العلماء من الأضرار الناتجة عن الأفراط فى إستخدام منتجات هذه الصناعات التى سبقت إليها الاشارة من قبل لما تسببه من أخطار بالغة تؤثر بشدة فى تآكل طبقة الأوزون. وبعض مكونات الكلوروفلوروكربون عبارة عن غازات خاملة *Inert* وذلك عند وجودها بالقرب من سطح الأرض فى القسم الأسفل من التروبوبوسفير غير أنه عند صعود هذه الغازات الى أعلى (تبعاً لخفة وزنها عند تسخينها) فإنها تتجمع فى طبقة الإستراتوسفير عند إرتفاع يصل الى نحو ٢٥ كم فوق سطح الأرض ونتيجة لتركز نشاط الأشعة فوق البنفسجية عند هذا الإرتفاع فإنها تعمل على تكسير مركبات الكلوروفلوروكربون فيتحرر وينطلق منها الكلورين *Chlorine* الذى يتفاعل مباشرة مع الأوزون ويؤدى الى تدميره. وقد تبين أن ذرة واحدة من الكلورين لديها القدرة على تدمير مئات الآلاف من جزيئات الأوزون (١) .

ومنذ عام ١٩٨٥ أظهرت قراءات الأجهزة فى المحطات المتيورولوجية

(1) a - Petterssen, S., "Introduction to meteorology", 3rd edi, Mc Graw-Hill N. Y., (1969), p. 43.

b - Moran, J. and Morgan, M. "Meteorology", 3rd edi, Mac Millan N. Y., (1991) p. 459-462.

البريطانية تدنى حجم الأوزون الإستراتوسفيرى وتكوين ثقب هائل الحجم فوق المناطق القطبية الجنوبية *The Antarctic's Ozone Hole*. وقد إعتقد العلماء فى البداية بأن ذلك الأمر قد يكون مرجعه أخطاء فى عمليات التسجيل المتيورولوجى. غير أنه تبين لهم بعد ذلك إستمرار زيادة إتساع ثقب الأوزون القطبى الجنوبى حتى صار يحتل مساحة تناهز مساحة قارة أوربا. كما أوضحت أجهزة الرصد المطورة المثبتة فى الأقمار الصناعية المناخية (المتيوسات *Meteosat*) وخاصة تلك بالقمر الصناعى نيمبوس (٧) *Nimbus-7* (التابع لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا *NASA*) بأن ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبى قد إزداد حجمه فى الثمانينيات بنسبة ٥٠ ٪ مما كان عليه فى السبيعنيات من هذا القرن.

كما رصدت الأجهزة المتيورولوجية المركبة فى الأقمار الصناعية المناخية زيادة تجمع أول أكسيد الكلورين (C_{lO}) فى طبقة الأستراتوسفير الذى تسبب التدمير المباشر للأوزون.

وقد إقترح بعض العلماء سبباً آخر لحدوث ثقب الأوزون، حيث تبين لهم فى نهاية عام ١٩٨٨ أن طبقة الأوزون تناقصت بنسبة ١٥ ٪ من حجمها عما كانت عليه من قبل. وشاهد هؤلاء العلماء فى نفس الوقت حدوث تيارات علوية غربية الإتجاه تدور بسرعة فى حركة دوامية حول القطب الجنوب فى طبقة الإستراتوسفير، وتعرف باسم التيارات العلوية الحوقطبية (أى التى تدور حول القطب - الدردورية - الدوامية *Circumpolar Vortex*). وتحيط هذه الرياح بكل جوانب ثقب الأوزون وتدور حوله بصورة مستمرة فى شكل حركة دوامية دردورية. وقد تبين بأنه عند زيادة سرعة حركة التيارات الهوائية فإن الهواء المعتدل فى العروض السفلى ينحبس عن الهواء القطبى الإستراتوسفيرى ومن ثم تنخفض درجة حرارته. وعندما تنخفض فيه السحب الثلجية وتصبح البلورات الثلجية عاملاً حافزاً للتفاعلات الكيميائية المسببة فى تدمير الأوزون.
أما عندما تضعف حركة التيارات الهوائية العلوية القطبية الدوامية فإن الهواء المعتدل الحرارة ينساب الى أعلى فى هواء الإستراتوسفير فى المناطق القطبية

ويتدنى حجم الثلج المتجمد فى الهواء ومن ثم يقل نضوب أو إستنزاف الأوزون.

وقد عنيت الدول المتقدمة بقياس حجم طبقة الأوزون الأستراتوسفيرى والتسجيل اليومى لما يحدث فيها من تغيرات عن طريق كل من أجهزة الرصد الأرضية والأجهزة المتيورولوجية المثبتة فى الأقمار الصناعية المناخية. ونظراً لخطورة هذا الأمر قررت بعض الدول (وخاصة الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والسويد والنرويج) تحديد كميات الإنتاج السنوى من مكونات الكلوروفلوروكربون. غير أن بعض الدول الصناعية الأخرى لم تلتزم بهذه السياسة ولا تزال تنتج مثل هذه الغازات الضارة والتى يقدر حجم إنتاجها السنوى منها نحو ٦٦,٠ ٪ من إجمالى إنتاج العالم.

وقد وجدت بعض الدول الصناعية مثل الصين الشعبية وروسيا صعوبات كثيرة عند قيامها بتطوير مصانعها للتقليل من إنتاج مركبات الكلوروفلوروكربون وأعلنت روسيا أن هذا الأمر يحتاج لعدة سنوات متتالية حتى يمكن لها أن تعلن إلتزامها رسمياً بما فرضه الحظر الدولى فى بروتوكول مونتريال فى عام ١٩٨٧ (١) لتحديد الإنتاج السنوى من الكلوروفلوروكربون. وإقترحت روسيا علاج ثقب الأوزون الحالى بطريقة أخرى تتمثل فى إستخدام ٥٠ قمراً صناعياً بحيث يقوم كل منها بتوجيه أشعة الليزر الى الغلاف الجوى لتنشيط الأوزون ولإنتاج ما يصل وزنه الى ٢٠ مليون طن من الأوزون كل عام، وهى كمية تفوق حجم الأوزون المتآكل سنوياً من طبقة الأستراتوسفير. ويتكلف هذا المشروع المقترح أكثر من ١٠٠ مليار دولار ويستغرق تنفيذه أكثر من عشر سنوات متصلة.

(١) فى سبتمبر ١٩٨٧ إجتمعت ٢٣ دولة تحت مظلة الأمم المتحدة فى مونتريال - كندا - وتعهدت بتخفيض إنتاج مكونات الكلوروفلوروكربون الى ما يعادل نصف إنتاجه السنوى العالمى وذلك بمجىء عام ١٩٩٨. وقد وافقت ٥٣ دولة من دول العالم تنتج مجتمعة نحو ٩٠ ٪ من الإنتاج العالمى السنوى لهذه المكونات على الإلتزام بما قررته هذه الإتفاقية الدولية التى عرفت باسم بروتوكول مونتريال Montrial Protocol.

الفصل الحادى عشر
الإشعاع الشمسى وحرارة الهواء

الشمس المصدر الرئيسى لحرارة الغلاف الجوى :

الشمس هى المصدر الرئيسى لحرارة الغلاف الجوى، ويمكن إغفال أثر كل من مصادر الحرارة الأخرى مثل تلك الآتية من باطن الأرض (مع إنبثاق البراكين والنافورات الحارة) والحرارة الآتية من الفضاء الخارجى (إحتراق بقايا الشهب والنيازك عند أعالى الغلاف الجوى) حيث إن أثرها فى تسخين هواء الغلاف الجوى يعد محدوداً جداً، ويطلق على الأشعة الشمسية الصادرة من الشمس والمتجهة نحو الأرض اسم «الإشعاع الشمسى» *Solar Insolation*، وعندما تصل هذه الأشعة الى سطح الأرض ترتد مرة ثانية الى الطبقات السفلى من الغلاف الجوى ويطلق عليها فى هذه الحالة اسم «الإشعاع الأرضى» *Terrestial Radiation*. وتعمل هذه الأشعة الأخيرة على تسخين هواء الغلاف الجوى - بمساعدة ما يتمثل فيه من الغازات الثقيلة مثل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء والأتربة - من أسفل الى أعلى [1]. ويبلغ قطر الشمس نحو ٨٦٠ ألف ميل وتقدر كتلتها بنحو ٣٣٣,٠٠٠ مثلاً لكتلة الأرض وهى شديدة الحرارة جداً بحيث تضىء نفسها بنفسها ولا تستمد أى ضوء من كوكب آخر، وتبلغ درجة حرارة سطح الشمس نحو ٧٠٠٠ درجة مطلقة وتزيد تدريجياً نحو مركزها بحيث تقدر درجة حرارته بأكثر من ٢٠ مليون درجة مطلقة. وتتألف الشمس من عنصرين أساسيين هما : الأيدروجين الذى يكون

---

(1) a - Blair, T. A., "Weather elements", Prentice-Hall, N. J. (1959), p. 82.

b - Barry R. G., Chorley, R. J., "Atmosphere, weather and climate", Methuen, London (1969), p. 26-29.

نحو ٨١,٧٦ ٪ والهليوم الذى يكون نحو ١٨,١٧ ٪ من كتلة الشمس، أما بقية الغازات الأخرى فلا تمثل أكثر من ٠,٠٧ ٪ من كتلة الشمس [١] .

ويرجح العلماء بأن قوة الإشعاع الشمسى تتولد نتيجة للتفاعلات النووية فى باطن الشمس بفعل إشتقاق ذرات الهليوم من ذرات الأيدروجين [٢] .

وقد ميز العلماء ثلاثة أنواع مختلفة من الإشعاع الشمسى تتمثل فيما يلى :

أ - **الأشعة الحرارية *Thermal rays* :**

وتعرف كذلك باسم الأشعة تحت الحمراء *Infra red rays* وهى أشعة غير مرئية للطيف الكهرومغناطيسى. وتنتمى لمجموعة الأشعة ذات الموجات الطويلة *Longer Waves* حيث يتراوح طول موجاتها من ٠,٧٥ - ٤,٠ ميكرون [٣] . وتقدر نسبتها بنحو ٤٦ ٪ من جملة الإشعاع الشمسى.

ب - **الأشعة الضوئية *Sun Light rays* :**

وهى أشعة مرئية وتقدر نسبتها بنحو ٤٥ ٪ من جملة الإشعاع الشمسى ويتراوح طول موجاتها من ٠,٤٠ الى ٠,٧٤ ميكرون [٤] .

---

(١) د. حسن ابو العينين - كوكب الأرض - الطبعة الحادية عشر - الاسكندرية (١٩٩٦) ص ٢ - ٣.

(٢) نتيجة لهذه التفاعلات قد تظهر البقع الشمسية Sun Spot فى جسم الشمس. وقد تبين من دراسة منحنى البقع الشمسية لمدة ١٠٠ سنة أنه يكاد يتوازى مع منحنى النشاط المغنطيسى للكرة الأرضية فى نفس هذه المدة.

(٣) الميكرون وحدة قياس موجات الضوء = ٠,٠٠١ من الملليمتر.

(٤) أ - أ. د. عبد العزيز طريح شرف ،الجغرافيا المناخية والنباتية الجزء الأول - الاسكندرية - الطبعة الثالثة (١٩٦١) ص ٣٦ - ٣٧.

ب - د. فهمى هلالى أبو العطا ،الطقس والمناخ الاسكندرية (١٩٧٠) ص ٩٢ - ٩٣ .

جـ - محمود حامد محمد ،المتيورولوجية القاهرة (١٩٤٦) ص ٨٩، وص ١٠١ .

جـ - الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية :
Violet and Ultra-violet rays

وتعرف أحياناً باسم الأشعة الحيوية، ولا تزيد نسبتها عن ٩ ٪ من جملة الإشعاع الشمسى، ويتراوح طول موجاتها من ٠,١٧ الى ٤٠, ميكرون [1].

الميزانية الحرارية *The heat budget* :

يخترق الإشعاع الشمسى كما سبقت الإشارة من قبل - الغلاف الجوى متجهاً صوب سطح الأرض، وهنا يرتد مرة أخرى الى الغلاف الجوى على شكل إشعاع أرضى. وعن طريق هذه الأشعة الأخيرة، وتيارات الحمل الحرارية الصاعدة *Convection* وعمليات التوصيل الحرارى *Conduction* - بمساعدة ما يتمثل فى الغلاف الجوى من مواد تساعد على إمتصاص الحرارة وتوصيلها وإنتشارها - تتنوع الحرارة فى الهواء وتنتقل أفقياً ورأسياً من مكان الى آخر فى كل نطاق الغلاف الجوى، وذلك مع حركات إنتقال الهواء. هذا الى جانب أثر عمليات التبخر *Evaporation* والتكاثف *Condensation* فى إختلاف درجة حرارة الهواء من مكان الى آخر.

ويعمل الإشعاع الشمسى *Insolation* الساقط على سطح الأرض على إنتقال الطاقة الحرارية عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية من الشمس الى سطح الأرض. ولكن لا يصل كل الإشعاع الشمسى المنبعث من الشمس الى الأرض بنفس قوته الأصلية، بل يتبين أن ٢٣ ٪ من الإشعاع الشمسى تنعكس بواسطة السحب وتنتشر الى أعلى فى الفضاء الخارجى عن طريق الجزيئات الدقيقة المعلقة فى الهواء، ونحو ٢ ٪ من هذه الأشعة الشمسية تنعكس مرة ثانية الى الفضاء عند سقوطها على سطح الأرض. وهكذا تصل جملة هذه الأشعة المنعكسة *Total reflectivity* الى الفضاء الخارجى عن طريق السحب وسطح

---

(1) Howard, J., Crichfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J. 2cd edi (1966), p. 14.

الأرض معاً نحو ٣٤ ٪ من جملة الأشعة الشمسية. ويطلق العلماء على جملة هذه الأشعة الأخيرة تعبير الألبيدو أى نورانية الأرض (١) *Earth Albedo* .

وتختلف قدرة الأسطح المختلفة على مدى إنعكاسها للأشعة الشمسية الساقطة عليها من سطح الى آخر. فتبلغ قدرة السحب على إنعكاسها للأشعة الساقطة عليها نحو عشرة أمثال قدرة سطح الأرض (٢) . ويلاحظ أن قدرة الأرض على إنعاكسها للأشعة الشمسية تزداد عند المناطق القطبية بدرجة أكبر منها عند المناطق الإستوائية. وقد تبين أن نحو ١٩ ٪ من جملة الإشعاع الشمسى *Insolation* تمتص عن طريق المواد الدقيقة الحجم العالقة فى الهواء وعن طريق الغازات وبخار الماء، فى حين يمتص سطح الأرض مباشرة نحو ٢٤ ٪ من هذه الأشعة الشمسية، وأن نحو ٢٣ ٪ من الإشعاع الشمسى يمتص كذلك بواسطة سطح الأرض ولكن بعد عمليات تشتت هذه الأشعة بفعل السحب والغلاف الجوى. وعلى ذلك فإن جملة الأشعة الشمسية التى يكتسبها سطح الأرض والهواء الملامس له تبلغ نحو ٦٦ ٪ من جملة الإشعاع الشمسى. (٢٤ ٪ يمتصها سطح الأرض مباشرة، ٢٣ ٪ يمتصها سطح الأرض من الأشعة المبعثرة والمرتدة من السحب، ١٩ ٪ تمتص من الغلاف الجوى) فى حين تبلغ جملة الأشعة الشمسية المفقودة نحو ٣٤ ٪ من جملة الإشعاع الشمسى (٢٣ ٪ تنعكس بواسطة السحب، ٩ ٪ تتبعثر فى الفضاء، ٢ ٪ تنعكس بواسطة سطح الأرض) (٣) . ومعنى ذلك أن نحو ثلثى الأشعة الشمسية هى التى تستخدم فى

---

(١) نورانية الأرض عبارة عن نسبة الأشعة الضوئية المنعكسة من سطح الأرض بالنسبة الى جملة الأشعة الضوئية الكلية الساقطة عليه. فيقال مثلاً أن القمر يعكس ٧ ٪ تقريباً من ضوء الشمس الساقط عليه ومن ثم فإن نورانية القمر تبلغ نحو ٧ ٪ فى حين أن نورانية الأرض تبلغ نحو ٣٤ ٪ وراجع :

Look Wood, J. G., "World Climatology.."Edward Arnold, (1975) p. 8.

(2) Barry, R.G. and Chorley R. J., "Atmosphere, Weather and Climate", Methuen, London (1969), p. 29-30 and p. 50-51.

(3) Howard, J. Crichfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J., (1959), p. 84.

عمليات تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض وبقية أجزاء الغلاف الجوى (شكل ٦١) . وحيث إن الأرض تمتص الإشعاع الشمسى وتحوله الى حرارة *Heat* فإن سطح الأرض يعد فى حد ذاته كذلك جسماً مشعاً *Radiating body* (١). وعلى الرغم من أن مكونات الغلاف الجوى لا تمتص سوى نسبة محدودة جداً من الموجات الإشعاعية القصيرة للإشعاع الشمسى المار عبرها، إلا أن للغلاف الجوى القدرة على الإحتفاظ بنسبة كبيرة جداً من الإشعاع الأرضى (موجات طويلة) المرتدة من سطح الأرض. ويقوم بهذه المهمة الأخيرة كل من بخار الماء وثانى أكسيد الكربون (٢) .

وتنتقل الحرارة فى الهواء كذلك بمساعدة عمليات التوصيل الحرارى *Conduction* ، أى عمليات توصيل الحرارة خلال وسط (قد يكون جامد أو سائل أو غاز) دون تحرك الوسط نفسه. وتحدث عملية التوصيل الحرارى عندما يتلامس جسمان مختلفان فى درجة حرارتهما، فتنتقل الحرارة من الجسم الأعلى حرارة الى الجسم الآخر الأقل حرارة. وتستمر عملية الإنتقال الحرارى بهذه الصورة بينهما الى أن تتشابه درجة حرارة هذين الجسمين (٣) . وعلى ذلك فعندما يمتص سطح الأرض الإشعاع الشمسى وترتفع درجة حرارته، تنتقل درجة الحرارة من الهواء الملامس لسطح الأرض الى الهواء

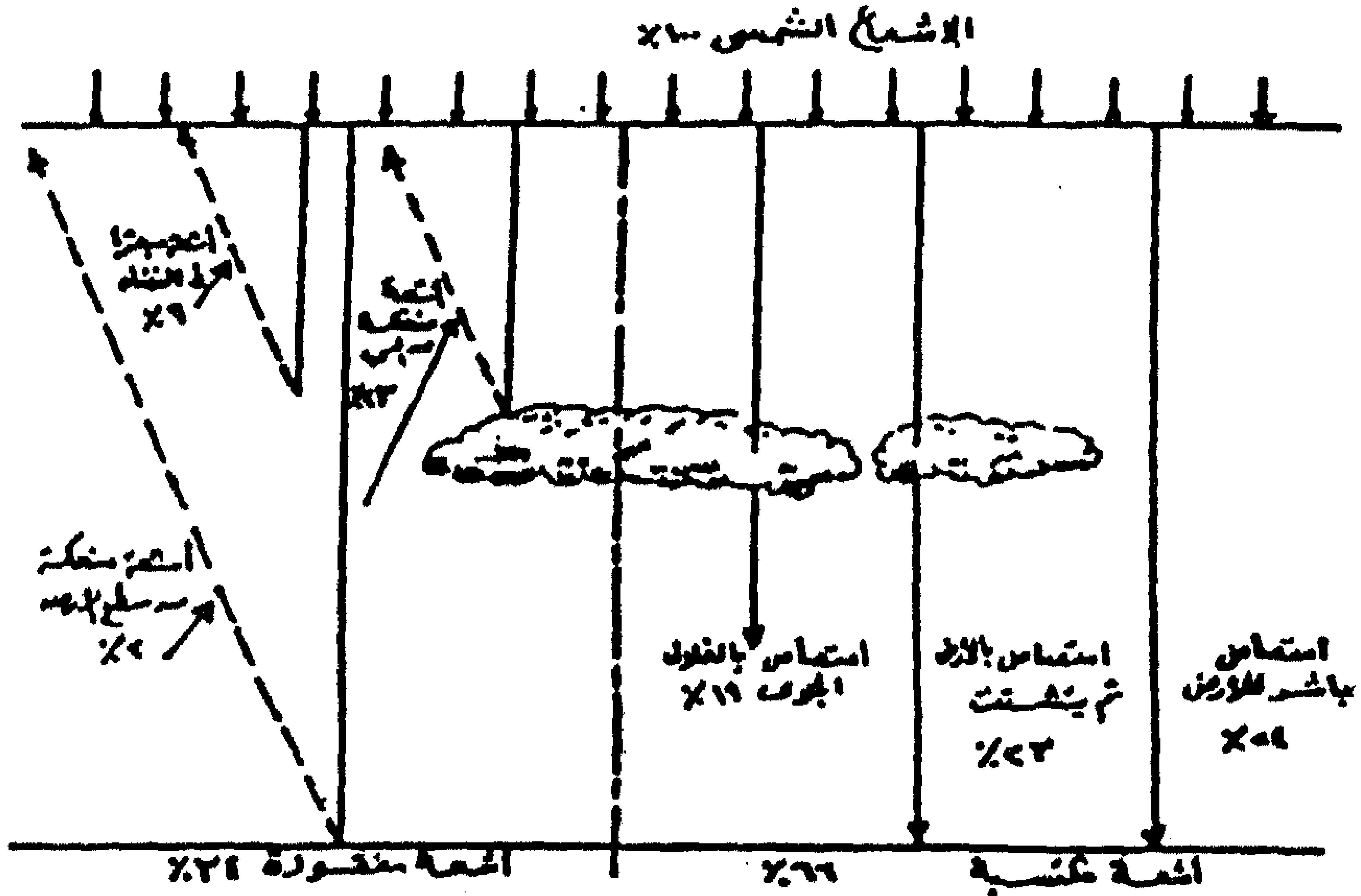
---

(1) a - Flair, T. A., "Weather elements", Prentice-Hall, N. J. (1959), p. 84.
b - Mather, J. R., "Climatology...", Mc Graw-Hill, N. Y. (1974), p. 17.

(٢) يطلق بعض العلماء على عملية تغلغل الإشعاع الشمسى Insolation - بعد أن ينعكس عند سطح الأرض - على شكل إشعاع أرضى Tresstial radiation تعبير «تأثير البيوت الزجاجية للنبات» The Green House Effect حيث يمكن أن نشبه هذه العملية بما يحدث لمثل بيوت النبات، التى يمكن لها أن تحتفظ بالحرارة داخلها، بعد سقوط الإشعاع الشمسى فوق جدرانها الزجاجية. فهى تسمح بدخول الإشعاع الشمسى، ولا تسمح بخروج الحرارة من داخلها. راجع أيضاً :

Lockwood, J. G., "World Climatology", (1974) p. 10.

(3) Trewarth, G. T. "An introduction to climatology", Mc Graw-Hill, N. J. (1954) p. 20.



(شكل ٦١) الإشعاع الشمسى والإشعاع الأرضى
وتسخين الهواء الملامس لسطح الأرض والغلاف الجوى

الذى يقع فوقه. ويحدث العكس إذا ما كان سطح الأرض والهواء الملامس له أقل حرارة من الهواء الواقع فوقهما، ويحدث ذلك خلال أيام فصل الشتاء وأثناء بعض الليالى الباردة فى العروض المعتدلة والعروض العليا.

ويعد الهواء نفسه موصل ردىء للحرارة ولكن عندما ترتفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض بفعل الإشعاع الأرضى فإنه ينساب الى أعلى ويصبح أقل كثافة عما كان عليه من قبل، وتعرف هذه العملية باسم التيارات الحرارية الصاعدة أو تيارات الحمل *Convection*. وعندما يبرد الهواء فى المناطق العليا من الغلاف الجوى يزداد وزنه وترتفع كثافته ويتعرض للهبوط مرة ثانية من أعلى الى أسفل ليحل بدوره محل الهواء الساخن الذى سبق وأن صعد الى أعلى. هذا الى جانب أثر الفعل الناتج عن الحرارة الكامنة *Latent Heat* والتى تكمن فى بخار الماء الذى يتبخر فوق المسطحات المائية الواسعة

وتشتمل الكتل الهوائية الحارة الرطبة على كميات كبيرة من الحرارة الكامنة فى بخار الماء [١] .

وعلى ذلك يمكن أن نلخص ببساطة العوامل التى تؤثر فى قوة الإشعاع الشمسى وتنوع مداه على سطح الأرض فى النقاط الآتية :

١ - مدى ثبات قوة الإشعاع الشمسى نفسه أو الثابت الشمسى *Solar constant* وهذا يتوقف على :

أ - قوة النشاط الإشعاعى الشمسى [٢] .

ب - إختلاف طول المسافة بين الشمس والأرض (تبعاً لدوران الأرض حول الشمس فى مدارها الأهليلجى الشكل) [٣] .

٢ - مدى شفافية طبقات الغلاف الجوى.

٣ - إختلاف عدد ساعات إشراق الشمس خلال اليوم الواحد من مكان الى آخر

---

(١) الحرارة الكامنة للإنصهار Laten heat هى عبارة عن كمية الحرارة اللازمة لتحويل جرام واحد من الجسم الصلب الى سائل دون أن تتغير درجة حرارته. وعلى سبيل المثال فإن الحرارة الكامنة لإنصهار الجليد هى ٣٣٥ جول/جم (٨٠ سعر / جم عند الصفر المئوى) بمعنى أنه يلزم للجرام الواحد من الماء فى درجة الصفر المئوى أن يفقد ٣٣٥ جول ليتحول الى ١ جم من الجليد عند درجة الصفر المئوى.
أما الحرارة الكامنة لتصعيد البخار، فهى عبارة عن كمية الحرارة التى يكتسبها جرام واحد من السائل لكى تتغير حالته من السيولة الى الغازية دون أن تتغير درجة حرارته وتبلغ هذه الحرارة ٢٢٦٠ جول / جم (٥٤٠ سعر / جم) عند درجة حرارة ١٠٠° م (لاحظ أن «جول» .J هو مقدار ثابت يسمى المكافئ الميكانيكى للحرارة) .

(٢) تبين للعلماء بأن متوسط كمية الحرارة خارج الغلاف الجوى تبلغ نحو ٢ جرام كالورى لكل سم٢ فى الدقيقة. ومن ثم فإن قوة النشاط الإشعاعى الشمسى تقدر بنحو ٤,٥ مليون حصان (horse power) لكل مل٢. (الكالورى Calories وحدة السعر الحرارى) . راجع :

Howard, J. Critchield, "General Climatology", Prentice-Hall, New Jeresy, 2ed edi (1966), p. 17-19.

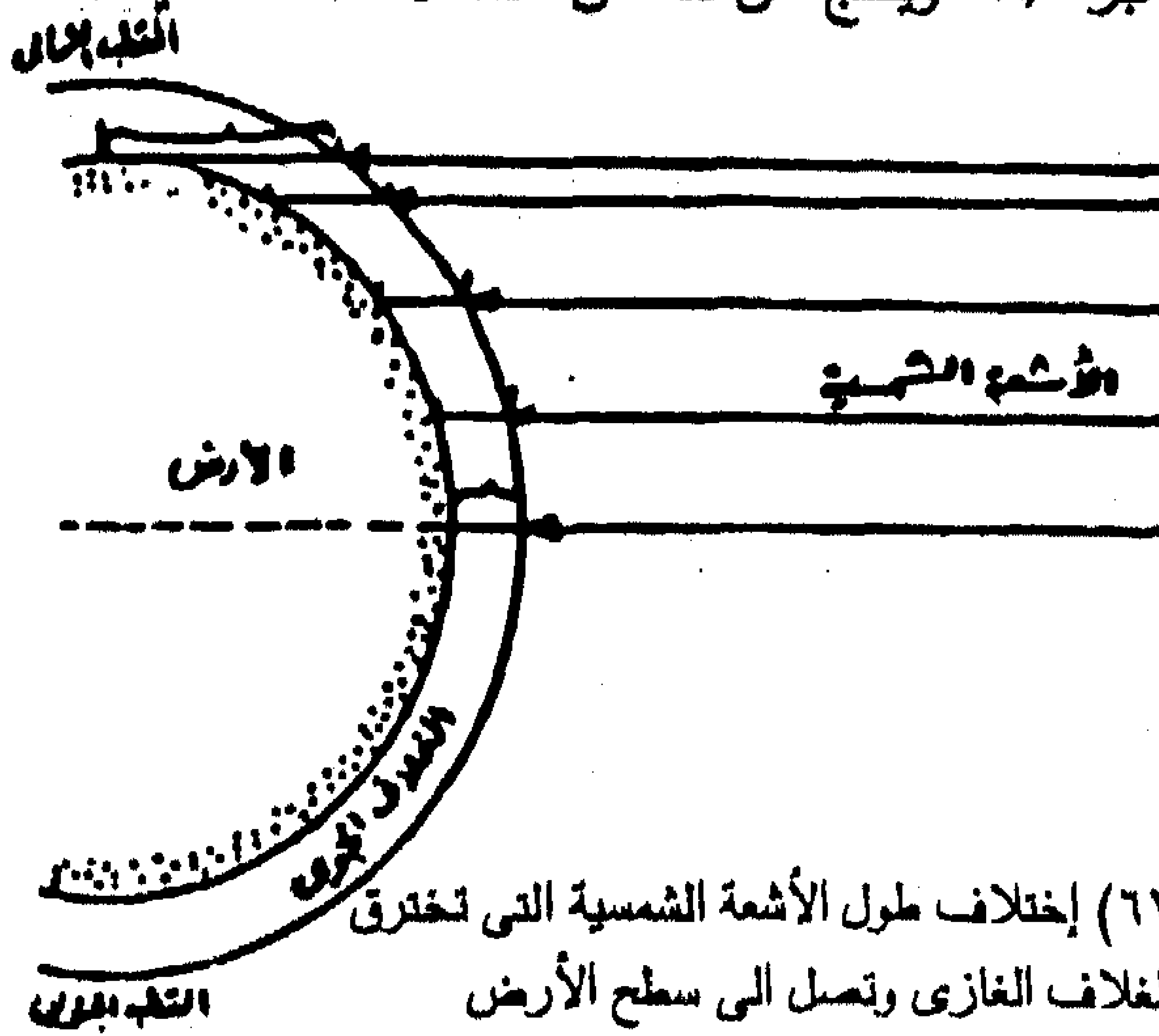
(٣) د. حسن ابو العينين «الجغرافيا العملية» بيروت (١٩٧٨) مذكرة جامعية.

على سطح الأرض.

٤ - زاوية ميل الأشعة الشمسية على سطح الأرض ذلك لأن الأشعة العمودية الساقطة عند الدائرة الإستوائية تخترق مسافة محدودة من الغلاف الجوى وتسقط على شكل زاوية قائمة إذا ما قورنت بالأشعة الشمسية التى تسقط عند سطح الأرض المنحنى عند المناطق شبه القطبية (شكل ٦٢).

وعلى ذلك تبعاً لسطح الأرض الكروى الشكل من ناحية ومدى تعامد الأشعة الشمسية على المكان من ناحية أخرى، فإن الأشعة الشمسية قد تسقط عمودية كما قد تكون مع سطح الأرض المنحنى الشكل زوايا مائلة فوق سطح هذا المكان. وتكون الأشعة الشمسية التى تسقط عمودية فوق مكان ما (خاصة خلال وقت الظهيرة) أقوى من غيرها من الأشعة الأخرى.

وعلى ذلك يتبين أن زاوية سقوط الأشعة الشمسية على الدائرة الإستوائية خلال الإعتدالين (مارس وسبتمبر) تكون صفراً أو ١٨٠° أما فى يونيو وفى سبتمبر فتبلغ ٢٣,٥° ومن ثم تكون شدة الحرارة الشمسية تساوى ١ (رقم أساسى) خلال الإعتدالين ونحو ٠,٩٢ خلال الانقلابين. أما عند دائرة عرض ٣٥° شمالاً فتكون زاوية سقوط الأشعة الشمسية فى مارس وسبتمبر نحو ٣٥° وفى يونيو ١١,٥° وفى ديسمبر ٥٨,٥° وينتج عن ذلك أن شدة الأشعة الشمسية هنا



(شكل ٦٢) إختلاف طول الأشعة الشمسية التى تخترق الغلاف الغازى وتصل الى سطح الأرض

خلال مارس وسبتمبر تصل الى نحو ٠,٨٢ (من الرقم الأساسى ١) وفى شهر يونيو ٠,٩٨ وفى شهر ديسمبر (الشتاء الشمالى) ٠,٥٢ أما بالنسبة لدائرة عرض ٧٥ْ شمالاً فتبلغ زاوية سقوط الأشعة الشمسية هنا خلال شهر مارس وسبتمبر ٧٥ْ فى حين تصل الى نحو ٥١,٥ْ خلال شهر يونيو (الصيف الشمالى) ونحو ٩٨,٥ْ خلال شهر ديسمبر وعلى ذلك تبلغ شدة الإشعاع الشمسى خلال مارس وسبتمبر عند دائرة العرض هذه نحو ٠,٢٦ فى حين يصل الى نحو ٠,٦٢ خلال شهر يونيو ويكون صفراً عند شهر ديسمبر (الشتاء الشمالى).

كما يتضح ذلك فى الجدول الآتى (١) :

دائرة العرض	مقدار زاوية سقوط الأشعة الشمسية (بالدرجات)			شدة الأشعة الشمسية (على أساس أن الأشعة العمودية = ١)		
	يونيو	مارس وسبتمبر	ديسمبر	يونيو	مارس وسبتمبر	ديسمبر
٧٥ْ شمالاً	٥١,٥	٧٥	٩٨,٥	٠,٦٢	٠,٢٦	صفر
٣٥ْ شمالاً	١١,٥	٣٥	٥٨,٥	٠,٩٨	٠,٨٢	٠,٥٢
الدائرة الإستوائية	٢٣,٥	صفر	٢٣,٥	٠,٩٢	١,٠٠	٠,٩٢
٣٥ْ جنوباً	٥٨,٥	٣٥	١١,٥	٠,٥٢	٠,٨٢	٠,٩٨
٧٥ْ جنوباً	٩٨,٥	٧٢	٥١,٥	صفر	٠,٢٦	٠,٦٢

وحيث أن مدار الأرض حول الشمس بيضاوى الشكل *ellipse*، ومن ثم فإن لهذا القطع الناقص البيضاوى الشكل محوران يصلان بين الشمس والأرض، ويطلق على المحور الأطول إسم المحور الرئيسى *major axis* والمحور الأقصر إسم المحور الثانوى *minor axis* وإن متوسط طول المسافة بين الشمس والأرض نحو ٩٣ مليون ميل- ١٥٠ مليون كم) إلا أن هذه المسافة تزداد أو تتناقص (تبعاً لنوع المحور الرئيسى أو الثانوى) فى حدود ١,٥ مليون ميل

(1) Gresswell, K. P., "Physical geography", Longman, (1972), p. 17.

(٢,٤ مليون كم) ويقال فى هذه الحالة أن الأرض فى الحضيض *Perihelion* أى قريبة *Peri* من الشمس. أما فى يوم ٤ يوليو فتصبح الأرض فى مدارها الأهليلجى أبعد ما تكون عن الشمس وتبلغ طول المسافة بينهما ٩٤,٥ مليون ميل (١٥٢ مليون كم) ويقال فى هذه الحالة أن الأرض فى الأوج *Aphelion* أى بعيدة *Ap* عن الشمس (١). وقد تبين للعلماء بأن قوة الإشعاع الشمسى الذى يصل الى سطح الأرض خلال فترة الحضيض بنحو ٧٪ عن قوته خلال فترة الأوج (٢). ومع دوران الأرض حول الشمس من الغرب الى الشرق وإختلاف إتجاه ميل محور الأرض يؤثر ذلك فى موقع الدائرة الضوئية *Circle of Illumination* وأشكالها وحدوث الفصول الأربعة (راجع شكل ٦ - فى الفصل الأول من هذا الكتاب).

وتؤثر درجة شفافية طبقات الغلاف الجوى فى مدى الإشعاع الشمسى الساقط على سطح الأرض. وقد سبقت الإشارة من قبل الى أثر كل من الغبار والرماد والسحب وبخار الماء وبعض الغازات فى عمليات إنعكاس الأشعة الشمسية وكيفية تشتتها وإمتصاصها وإحتفاظ هذه العوامل بالإشعاع الأرضى فى الطبقات السفلى من الغلاف الجوى. وعلى ذلك فإن المناطق التى يكثر فيها السحب والهواء الملوث بالأتربة تستقبل كمية أقل نسبياً من الأشعة الشمسية. كما تختلف درجة شفافية الغلاف الجوى مع دوائر العرض على سطح الأرض، فبالنسبة للعروض العليا والوسطى فإن على الأشعة الشمسية

---

(١) قدر العلماء بأن متوسط سرعة دوران الأرض فى مدارها خلال الحركة الإنتقالية تبلغ نحو ٦٦,٦٠٠ ميل فى الساعة (أى نحو ١٠٧,٠٠٠ كم فى الساعة) ولكن تختلف هذه السرعة من موقع الى آخر على طول مدار الأرض حول الشمس حيث تزداد سرعة الأرض عندما تكون الأرض فى الحضيض Perihelion وتقل سرعتها عندما تكون فى الأوج Aphelion. راجع المرجع السابق: د. حسن أبو العينين (١٩٧٨) ص ٧٢.

(1) a - Strahler, A. N., "Introduction to physical geology", Wiley (1959), p. 51-71.

b - Trewartha, G. T., "An introduction to climate", Mc Graw-Hill, N. Y. (1954), p. 10-13.

لابد وأن تقطع مسافة أطول نسبياً من الغلاف الجوى عن تلك المسافة فى المناطق الإستوائية.

وتختلف طول فترة عدد ساعات إشراق الشمس خلال اليوم مع دوائر العرض المختلفة ومع إختلاف فصول السنة كذلك، وعندما يزداد طول فترة ساعات إشراق الشمس قد يؤدى ذلك الى إرتفاع كمية الإشعاع الشمسى الساقط على سطح الأرض، كما يتضح فى الجدول الآتى :

دوائر العرض (شمالاً) (الصيف الشمالى)	الدائرة الاستوائية	١٧°	٤١°	٤٩°	٦٣°	٦٦,٣°	٦٧,٢°	٩٠°
عدد ساعات إشراق الشمس	١٢	١٣	١٥	١٦	٢٠	٢٤	شهر	٦ شهور

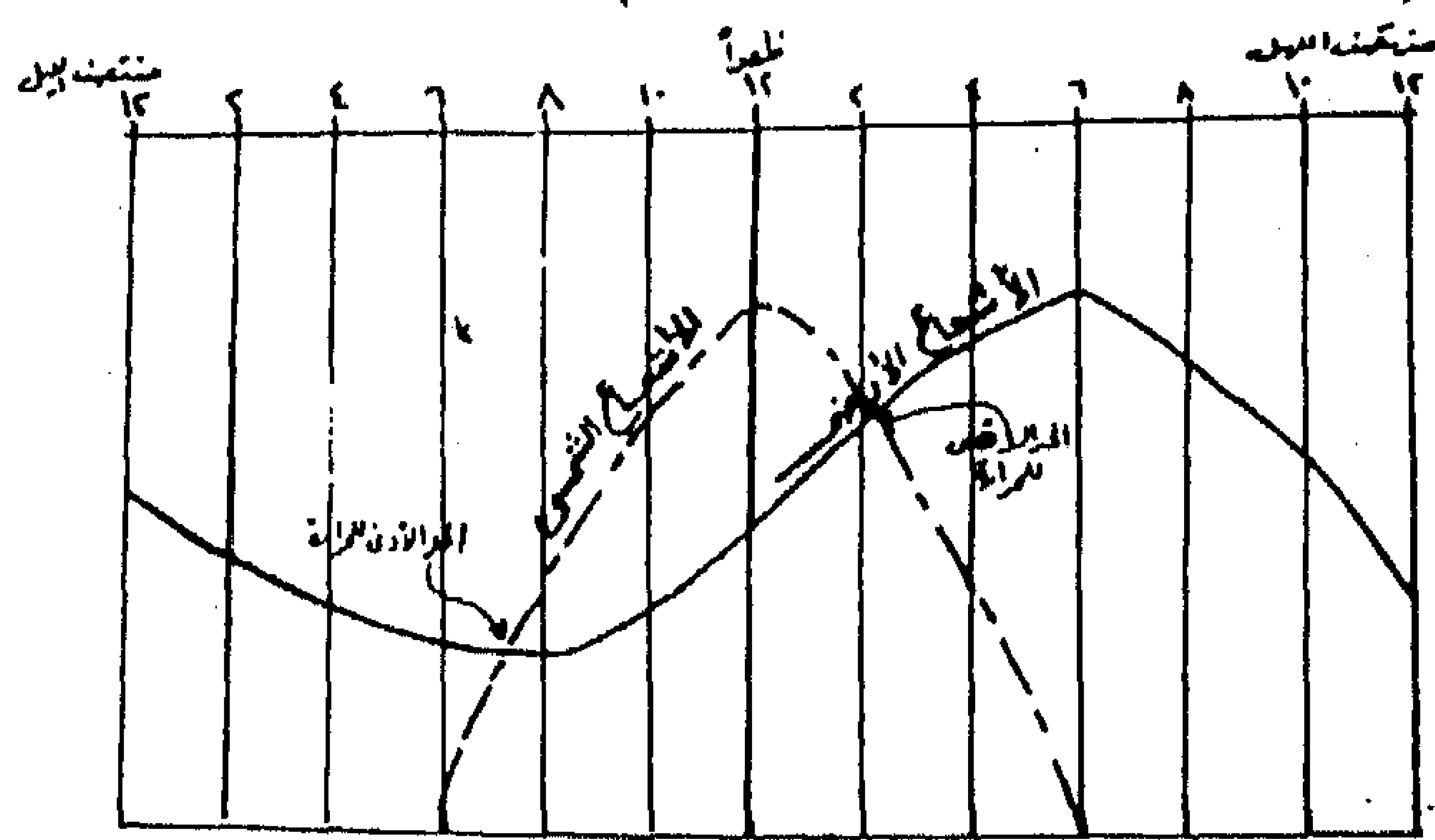
كما يؤثر إختلاف درجة تضرس سطح الأرض وإمتداد السلاسل الجبلية وإتجاهات الأودية التى تقطع هذه الجبال فى مدى قوة الأشعة الشمسية الساقطة على سطح الأرض.

وكما سبقت الإشارة من قبل فإن الإشعاع الشمسى الذى يتبقى بعد رحلته الطويلة ويسقط على سطح الأرض ينعكس ويرتد الى الجو على شكل موجات ذات أطوال كبيرة تعرف باسم الإشعاع الأرضى، ويلاحظ أن الإشعاع الشمسى الذى يسقط على سطح الأرض فى مكان ما يتوقف على عدد ساعات شروق الشمس فوق هذا المكان. أما الإشعاع الأرضى فإنه يحدث طوال ساعات اليوم الكامل أو بمعنى آخر أثناء النهار عند سقوط الإشعاع الشمسى على سطح الأرض وكذلك أثناء الليل حتى إن لم تكن هناك أشعة شمسية ساقطة على سطح الأرض. ويبلغ الإشعاع الشمسى أعلى مقدار له وقت الزوال أى عند تعامد الشمس على خط طول المكان نفسه (عادة الساعة الثانية عشرة ظهراً) (شكل٦٣).

أدوات وطرق قياس درجة حرارة الهواء :

تقاس درجة حرارة الهواء باستخدام أنواع متعددة من المقاييس أو الترمومترات الحرارية منها ما يعرف باسم الترمومتر البسيط أو الجاف والترمومترات المزدوجة وذو النهاية العظمى وذو النهاية الصغرى، وقد تقرأ التسجيلات فى هذه الترمومترات الحرارية بأى من النظامين المئوى أو الفهرنهيتى [1].

وتقاس درجة حرارة الهواء بإستخدام أى أو كل من النظامين الدوليين المعروفين بالنظام المئوى أو نظام سلسيوس *Centigrade or Clesius Scale* والنظام الفهرنهيتى *Fahrenheit Scale* . ويكاد يقتصر إستخدام النظام الفهرنهيتى على بريطانيا وبعض الدول التى تتحدث باللغة الانجليزية، فى حين أن إستخدام النظام المئوى يعد أكثر شيوعاً فى معظم أنحاء العالم نظراً



(شكل ٦٣) منحنى الإشعاع الشمسى نهاراً ومنحنى الإشعاع الأرضى طوال اليوم الكامل

---

(1) Sutton, Sir Graham, "Scales of temperature", Weather, vol. 18 Prt 5 (1963), p. 130-134.

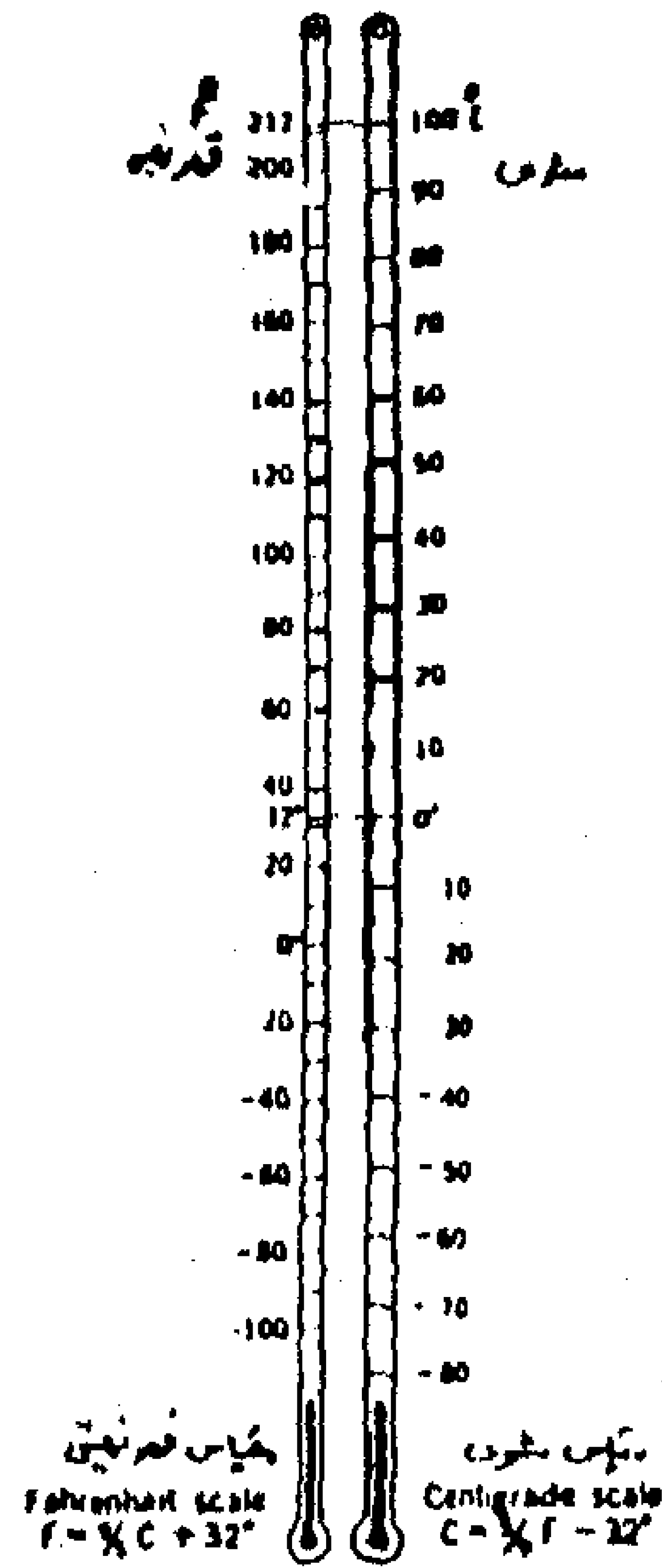
لسهولة إستخدامه [١] (شكل ٦٤).

أ - المقياس المئوى :

وفيه تنقسم الفترة الأساسية الى ١٠٠ قسم. والنقطة السفلى منه فى صفر° م والنقطة العليا فيه هى ١٠٠° م، ويعبر عن درجة الحرارة المئوية بالرمز د° م (أى درجة مئوية) والصفر المئوى هو عبارة عن درجة إنصهار الجليد النقى وقد تبين أن تأثير الضغط عند هذه الدرجة يعد بسيطاً جداً. أما درجة غليان الماء المقطر تحت الضغط الجوى العادى (٧٦ سم زئبق) فهى ١٠٠° م.

ب - المقياس الفهرنهيتى :

تحدد درجة غليان الماء فى هذا المقياس ٢١٢° ف ودرجة ذوبان أو إنصهار الثلج (درجة التجمد عند صفر م) = ٣٢° ف وعلى ذلك فإن ١٠٠° م = ١٨٠° ف (٢١٢° - ٣٢° ف) ومن ثم فإن ١° م = $\frac{١٨٠}{١٠٠}$ = $\frac{٩}{٥}$ درجة ف.



(شكل ٦٤)
المقياس المئوى والمقياس الفهرنهيتى

(1) Ward, R., "Climate", 2cd edi. N. Y. (1918), p. 53.

ومما سبق يتضح أنه يمكن بسهولة تحويل الدرجات المئوية الى فهرنهيتية وبالعكس وفقاً لما يلى :

الدرجة المئوية = $\frac{٥}{٩}$ (الدرجة الفهرنهيتية - ٣٢)

الدرجة الفهرنهيتية = ٣٢ + $\frac{٥}{٩}$ الدرجة المئوية)

وعلى ذلك فإن :

٢٠° م = ($\frac{٥}{٩}$ × ٢٠) + ٣٢ = ٦٨° م

٦٨° ف = (٦٨ - ٣٢) × $\frac{٥}{٩}$ = ٢٠° م

وتنبغى الإشارة الى أن هناك نظاماً آخر يقيس به العلماء أعلى درجات الحرارة الحركية وأدناها ويعرف باسم نظام كالڤن *Kelven* . ويعتمد هذا النظام على تحديد الصفر المطلق *Absolute* . ويقصد بالصفر المطلق نقطة بداية مدرج الحرارة المطلقة وهى - ٢٧٣° م. وهى عبارة عن الدرجة التى يتوقف عندها كل حركة حرارية، ويتلاشى عندها حجم الغاز نظرياً مع ثبات الضغط. ولم يتمكن العلماء من تخفيض درجة حرارة أى جسم ما الى ما تحت الصفر المطلق. ويمكن أن تحول درجات الحرارة المئوية الى درجات حرارة حركية مطلقة وذلك بإضافة ٢٧٣° الى قيمتها.

أى أن :

٢٠° م = ٢٠ + ٢٧٣ = ٢٩٣° مطلقة (درجة كالڤن K°).

حساب متوسطات درجات الحرارة :

تهتم الدراسات المناخية بحساب المتوسطات والمعدلات المختلفة لعناصر المناخ ومنها درجة الحرارة. وعن طريق رصد وتسجيل درجات حرارة الهواء ساعة بساعة أثناء اليوم الواحد يمكن حساب المتوسط اليومى لدرجة الحرارة. وإذا كانت البيانات الطقسية مسجلة فى محطة ما خلال مدة زمنية طويلة (عشرات من السنين) فإنه يمكن حساب المتوسط الشهرى لدرجة الحرارة

وكذلك المتوسط السنوى لها والمعدل الشهرى والمعدل السنوى بل ومعرفة حالة الظروف الحرارية للمنطقة التى تتمثل فيها هذه المحطة المناخية. كما تعتمد الخرائط المناخية البيانية أو الكمية *Quantitative Climatic Maps* على معرفة المتوسطات والمعدلات الشهرية والفصلية والسنوية لعناصر المناخ المختلفة ومن بينها حرارة الهواء. وإذا ما توفرت محطات الرصد الجوى فى منطقة ما، وقامت بتسجيل ورصد عناصر المناخ المختلفة خلال مدة زمنية طويلة فإنه يمكن إنشاء خطوط التساوى البيانية *Isopleth Lines* بعد حساب معدلات البيانات المناخية المختلفة [١] . ومن بين هذه الخطوط البيانية ما يعرف باسم خطوط الحرارة المتساوية *Isotherms* وخطوط الضغط المتساوى *Isobars* وخطوط السرعة المتساوية للرياح *Isotachs* وخطوط النمو المتساوى للنباتات *Isophenes* . وتحسب المتوسطات المختلفة لدرجة حرارة الهواء كما يلى :

١ - المتوسط اليومى لدرجة الحرارة :

The Daily mean of temperature

ويمكن حساب المتوسط اليومى لدرجة الحرارة إذا ما سجلت درجة حرارة الهواء خلال اليوم الواحد ٢٤ مرة (أى مرة كل ساعة) ثم إيجاد مجموع كل هذه القراءات وقسمتها على ٢٤.

$$\frac{\text{مجموعة درجات حرارة الهواء خلال ٢٤ ساعة (ساعات اليوم)}}{\text{٢٤}} =$$

ويحسب عادة المتوسط اليومى لدرجة الحرارة كما يلى [٢] :

(1) Trewartha, G. T., "An introduation to Climate", Mc. Graw-Hill, N. Y. (1954), p. 26-27.

(٢) محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦) ص ٦٤.

قراءة الساعة ٨ + الساعة ١٤ + الساعة ٢٠ + النهاية الصغرى
_______________________ =
٤

ويمكن أيضاً إستخدام طريقة أخرى سهلة حسابياً ولكنها أقل دقة من الطريقة الأولى وذلك بإيجاد مجموع النهايتين العظمى والصغرى لدرجة حرارة الهواء أثناء اليوم الواحد، ثم قسمته على ٢ (١) :

النهاية العظمى + النهاية الصغرى
_______________________ =
٢

ويطلق على الفرق بين قراءة النهايتين العظمى والصغرى لدرجة الحرارة أثناء اليوم تعبير المدى الحرارى اليومى *Daily range of temperature* ويمكن حساب هذا المدى مباشرة عند قراءة ترمومتر النهاية العظمى وترمومتر النهاية الصغرى لدرجة الحرارة. وتعتمد خرائط الطقس على بيانات المتوسطات اليومية والمدى الحرارى اليومى لدرجة الحرارة ولغيرها من عناصر المناخ الأخرى.

المتوسط الشهرى لدرجة الحرارة :

The monthly mean of temperature

يعد أدق حساب للمتوسط الشهرى لدرجة الحرارة، هو عند رصد درجة حرارة الهواء خلال كل ساعة من ساعات اليوم (٢٤ ساعة) والحصول على المتوسط اليومى لدرجة الحرارة، ثم جمع المتوسطات اليومية لدرجة الحرارة

---

(1) Howard, J. Critchfield "General Climatology", Prentice-Hall, New Jersey, 2edi. (1966), p. 21.

وراجع أيضاً :

د. فهمى هلالى أبو العطا «الطقس والمناخ» الإسكندرية (١٩٧٠) ص ٦٦ - ٦٧.

د. محمود حامد محمد «الظواهر الجوية ...» القاهرة (١٩٢٧) ص ٧٧.

خلال أيام الشهر وقسمة الناتج على عدد أيامه [١]. أى أن :

المتوسط الشهرى لدرجة الحرارة =

$$\frac{\text{مجموع المتوسطات اليومية لدرجة الحرارة خلال أيام الشهر}}{\text{عدد أيام الشهر}}$$

وقد يلزم الدراسات المناخية معرفة معلومات أخرى عن درجات الحرارة الشهرية أكثر تفصيلاً عن المتوسط الشهرى العام لدرجة الحرارة. وعلى ذلك يمكن حساب مثلاً :

أ - المتوسط الشهرى للنهايات العظمى لدرجة الحرارة :

$$\frac{\text{مجموع قراءات النهايات العظمى لدرجة الحرارة لكل أيام الشهر}}{\text{عدد أيام الشهر}}$$

ب - المتوسط الشهرى للنهايات الصغرى لدرجة الحرارة :

$$\frac{\text{مجموع قراءات النهايات الصغرى لدرجة الحرارة لكل أيام الشهر}}{\text{عدد أيام الشهر}}$$

جـ - متوسط المدى الحرارى الشهرى :

$$\frac{\text{مجموع المدى الحرارى اليومى لكل أيام الشهر}}{\text{عدد أيام الشهر}}$$

وقد يحسب المدى الحرارى الشهرى لدرجة الحرارة بطريقة أخرى تعد أسهل حسابياً وذلك على أساس إيجاد الفرق بين أعلى يوم من أيام الشهر الواحد وأقلها حرارة.

(1) Trewartha, G. T., "An introduction to Climate" Mc Graw-Hill, N. Y. (1954), p. 27.

٣ - المتوسط السنوى لدرجة الحرارة :

The annual mean of temperature

ويعد أدق حساب للمتوسط السنوى لدرجة حرارة الهواء، هو عند جمع كل المتوسطات اليومية لدرجة الحرارة لكل أيام السنة وقسمة الناتج على عدد أيام السنة، أى :

مجموع المتوسطات اليومية لكل أيام السنة

عدد أيام السنة

وتبعاً لصعوبة إجراء العمليات الحسابية بهذه الطريقة السابقة (تستخدم هنا الآلات الحاسبة الإلكترونية) فيمكن حساب المتوسط السنوى لدرجة الحرارة على أساس إيجاد مجموع المتوسطات الشهرية لدرجة الحارة خلال السنة ثم قسمة الناتج على عدد أشهر السنة. أى :

مجموع المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة خلال السنة

١٢

ويمكن الحصول على المدى الحرارى السنوى *Annual range of temperature* بإستخدام عدة طرق هى :

أ - حساب الفرق بين متوسط أعلى الشهور حرارة وأقلها حرارة.

ب - إيجاد مجموع متوسطات المدى الحرارى الشهرى خلال السنة وقسمة الناتج على عدد شهور السنة.

جـ - إيجاد مجموع متوسطات المدى الحرارى اليومى خلال السنة وقسمة الناتج على عدد أيام السنة

وتعد هذه الطريقة الأخيرة أكثر دقة عن بقية الطرق الأخرى.

التوزيع الجغرافى (الأفقى) للحرارة وخطوط الحرارة المتساوية على سطح الأرض :

يهتم كثير من الباحثين ومن بينهم خاصة عالم المناخ والمتيورولوجى والجغرافى والمهندس المعمارى بدراسة متوسطات درجات حرارة الهواء الفصلية والسنوية، وإختلافها من مكان الى آخر على سطح الأرض. وبفضل إنتشار الأعداد الكبيرة من محطات الرصد الجوى فى جميع أنحاء العالم، تمكن الباحثون من رصد درجات الحرارة لمواقع متعددة من سطح العالم، ثم ربط المواقع التى تتساوى فى قيمها الحرارية بخطوط التساوى الحرارى، وإنشاء ما يعرف باسم خرائط خطوط الحرارة المتساوية *Isotherm Maps* وعند إنشاء خطوط الحرارة المتساوية ينبغى أن تعدل درجات الحرارة الفعلية التى سجلتها محطات الأرصاد الجوية للمواقع المختلفة بالنسبة لمستوى سطح البحر. وعلى ذلك تضاف ٣,٣ ْف الى درجة الحرارة الفعلية التى سجلتها محطة الرصد الجوى وذلك لكل إرتفاع قدره ١٠٠٠ قدم [(١)].

وتتلخص العوامل التى تؤثر فى إختلاف درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض من مكان الى آخر ومن ثم فى قيم خطوط الحرارة المتساوية وأشكالها فى العالم فيما يلى :

١ - مدى القرب عن الدائرة الإستوائية أو البعد عنها، حيث تكون أشعة الشمس عمودية وقصيرة فوق الدائرة الإستوائية. ومن ثم تصبح منطقة الدائرة الإستوائية شديدة الحرارة فى حين ينخفض المتوسط السنوى لدرجة حرارة الهواء كلما إتجهنا شمالاً أو جنوباً من منطقة الدائرة الإستوائية.

٢ - التوزيع غير المنتظم للمسطحات المائية واليابس، ذلك لأن الأرض

---

(١) فإذا كان المتوسط السنوى لدرجة الحرارة الفعلية لمكان ما، ارتفاعه عن سطح البحر ٢٠٠٠ قدم هو ٦٠ ْف، فإن القيمة الحرارية المعدلة لهذا المكان على خرائط خطوط الحرارة المتساوية تكون ٦٠ ْ + ٦,٦ ْ = ٦٦,٦ ْ ف.

تكتسب الحرارة بسرعة وتفقدها بسرعة، فى حين أن المسطحات المائية تكتسب الحرارة ببطء وتفقدها ببطء كذلك. وينتج عن ذلك أن المدى الحرارى (اليومى والفصلى) يكون أكبر على اليابس منه فوق المسطحات المائية، وإن درجات حرارة اليابس أعلى من درجات حرارة المسطحات المائية التى تقع معها على نفس دوائر العرض (١).

٣ - تأثير التيارات البحرية (الأفقية) الباردة والدفيئة فى تشكيل درجة حرارة الهواء الملامس لأسطحها. ومن المعلوم أن التيارات البحرية هى مظهر من مظاهر حركة المياه (الرأسية والأفقية) فى البحار والمحيطات. ويصاحب التيارات البحرية الدفيئة هواء دافىء يلامس سطح مياه البحار، فى حين يصاحب التيارات البحرية الباردة هواء بارد ينتقل فوق أسطحها مع حركتها الأفقية فى البحار والمحيطات. وعلى ذلك فعند إنتقال التيارات البحرية فى حركتها الأفقية بجوار سواحل القارات، تشكل الأحوال الطقسية لهذه المناطق الساحلية بأثر فعل كل من الهواء البارد أو الهواء الدافىء المصاحب للتيارات البحرية (شكل ٦٥). وعلى سبيل المثال تبين أن درجة حرارة السواحل الجنوبية الشرقية للولايات المتحدة الأمريكية ترتفع بأكثر من ١٠° م عنها بالنسبة للسواحل الجنوبية الغربية الواقعة معها عند نفس دوائر العرض، وذلك لأن السواحل الأولى تتأثر حرارتها بمؤثرات تيار الخليج الدفىء والهواء الدفىء المصاحب له، فى حين تتأثر السواحل الثانية بتيار كاليفورنيا البارد والهواء البارد المصاحب له.

٤ - أثر الغطاء النباتى : حيث يساعد هذا الغطاء على تعديل درجة حرارة

---

(1) a - Patterssen, S., "Meteorology", 3rd edi, Mc Graw-Hill, N,. Y. (1969), p. 53-72.

b - Riehl, H., "Introduction to the atmosphere", Mc Graw-Hill, N. Y. (1972), p. 39

تيارات بحرية دفيئة ←——

تيارات بحرية باردة ←- - -

(شكل ٥٩) التوزيع الجغرافى للتيارات البحرية السطحية

الهواء الملامس لسطح الأرض، ففى المناطق الجرداء الخالية من النبات تسقط الأشعة الشمسية مباشرة فوق سطح الأرض، ويمتص بعض هذه الأشعة فى حين يرتد بعضها الآخر على شكل إشعاع أرضى ويعمل على تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض. أما النباتات الكثيفة فإنها تنظم عملية تساقط الأشعة الشمسية فوق سطح الأرض، وتعدل من درجات الحرارة حيث تمتص النباتات الطبيعية بعض الأشعة الساقطة وتلطف حرارة الجو بفعل النتح.

٥ - أثر الارتفاع عن سطح الأرض : حيث يكتسب الهواء حرارته بفضل الغبار والمواد العالقة فيه والغازات الثقيلة منه مثل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء وتعمل هذه المواد جميعاً على إمتصاص الحرارة وبالتالى رفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض. أما إذا إنخفضت نسبة وجود هذه المواد كما هو الحال فى طبقات الجو العليا وعند المناطق الجبلية المرتفعة والتى لا يتمثل عندها سوى الغازات الخفيفة. فإن هذه الأخيرة لا تؤدى الى إرتفاع درجة حرارة الهواء.

وعلى ذلك تبين أن تسخين الهواء أو الغلاف الغازى فى طبقة التربوسفير يتم من أسفل الى أعلى وكذلك تبين أن درجة الحرارة تقل بمعدل ١ْ م لكل ١٥٠ م (أى ٣,٣ْ ف لكل ١٠٠٠ قدم) وهكذا يتضح أن درجة حرارة الهواء عند أقدام الجبال أعلى بكثير من الحرارة عند قممها العالية.

٦ - أثر الكتل الهوائية : حيث تعمل الكتل الهوائية الباردة على إنخفاض درجة حرارة الهواء فى المناطق التى تنساب إليها. بينما تعمل كتل الهواء الساخنة على إرتفاع درجة حرارة الهواء فى المناطق التى تنساب إليها. والكتلة الهوائية عبارة عن كتلة من الهواء متجانسة الخصائص الطبيعية بدرجة كبيرة وتنساب من منطقة الى أخرى تبعاً لتباين مناطق الضغط.

٧ – أثر الرياح المحلية : فإن بعض أجزاء سطح الأرض تتأثر بأنواع متعددة من الرياح المحلية التى يقتصر هبوبها على مناطق محدودة من سطح الأرض. وهذه الرياح المحلية يشتد هبوبها خلال أوقات معينة من السنة، ومنها رياح باردة تؤدى الى زيادة برودة الهواء فى حين أن بعضها الآخر قد تكون رياح دفيئة تؤدى الى زيادة إرتفاع درجة حرارة الهواء فى المناطق التى تهب عليها.

٨ – أثر الإنخفاضات الجوية والإرتفاعات الجوية : حيث قد تتشكل أجزاء من سطح الأرض بظروف الطقس والمناخ المتغيرة نتيجة لتأثر هذه الأجزاء بفعل الإرتفاعات والأعاصير أو المنخفضات الجوية. وهذه الأخيرة تؤدى الى عدم إستقرار ظروف الطقس وبالتالى تغير درجة حرار ة الهواء من ساعة الى أخرى ومن يوم الى آخر.

ونتيجة لإختلاف درجات الحرارة من مكان الى آخر على سطح الأرض قسم علماء المناخ سطح العالم الى مناطق أو نطاقات حرارية عامة تشتمل على ما يلى :

أ – النطاق الإستوائى :

وهو النطاق الذى يضم الأراضى الواقعة الى شمال الدائرة الإستوائية وجنوبها بنحو خمس درجات عرضية [1] . ويتميز هذا النطاق بإرتفاع درجة حرارة الهواء فيه طول العام تبعاً لتعامد الشمس عليه معظم أوقات السنة. وتتمثل فيه قمتان حراريتان خلال فصل الربيع والخريف (فترة الإعتدالين) ولا تقل درجة حرارة أى شهر من شهور لسنة عن ٦٨° ف، ولا يزيد المدى الحرارى السنوى عن ٥° ف.

---

(١) راجع الدراسة التفصيلية للأقاليم المناخية فى الفصل السادس عشر من هذا الكتاب.

ب - النطاق المدارى :

ويضم هذا النطاق المناطق المحصورة بين مدارى الجدى والسرطان (٢٣,٥° شمالاً وجنوبا)، ويتميز بارتفاع درجة حرارة الصيف (تبعاً لتعامد الشمس) عن درجة حرارة الشتاء، وتتراوح درجة الحرارة فيه من ٥٥° ف شتاءً الى أكثر من ٦٨° ف صيفاً، ومن ثم يزيد المدى الحرارى الفصلى فيه عن ١٥° ف.

جـ - النطاقات المعتدلة :

وتشمل المناطق الواقعة فيما وراء المدارين حتى دائرتى عرض ٦٦,٦° شمالاً وجنوباً. وتختلف فيها درجات الحرارة من الصيف الى الشتاء. ففى خلال فصل الشتاء قد تنخفض درجة الحرارة الى أقل من ٥٠° ف، فى حين ترتفع درجة الحرارة خلال فصل الصيف وتتراوح عامة من ٥٠° الى ٦٨° ف.

د - النطاق البارد أو القطبى :

ويقع هذا النطاق فيما وراء دائرتى عرض ٦٦,٥° شمالاً وجنوباً، ويتميز مناخ هذا النطاق بشدة برودته خاصة خلال فصل الشتاء، وتتراوح درجة الحرارة فيه من ٥٠° الى ٦٨° ف خلال شهور الصيف فقط، فى حين تنخفض درجة الحرارة عن ٥٠° ف خلال بقية أشهر السنة بل قد تنخفض درجة الحرارة عن الصفر المئوى خلال شهرين على الأقل خاصة من أشهر الشتاء.

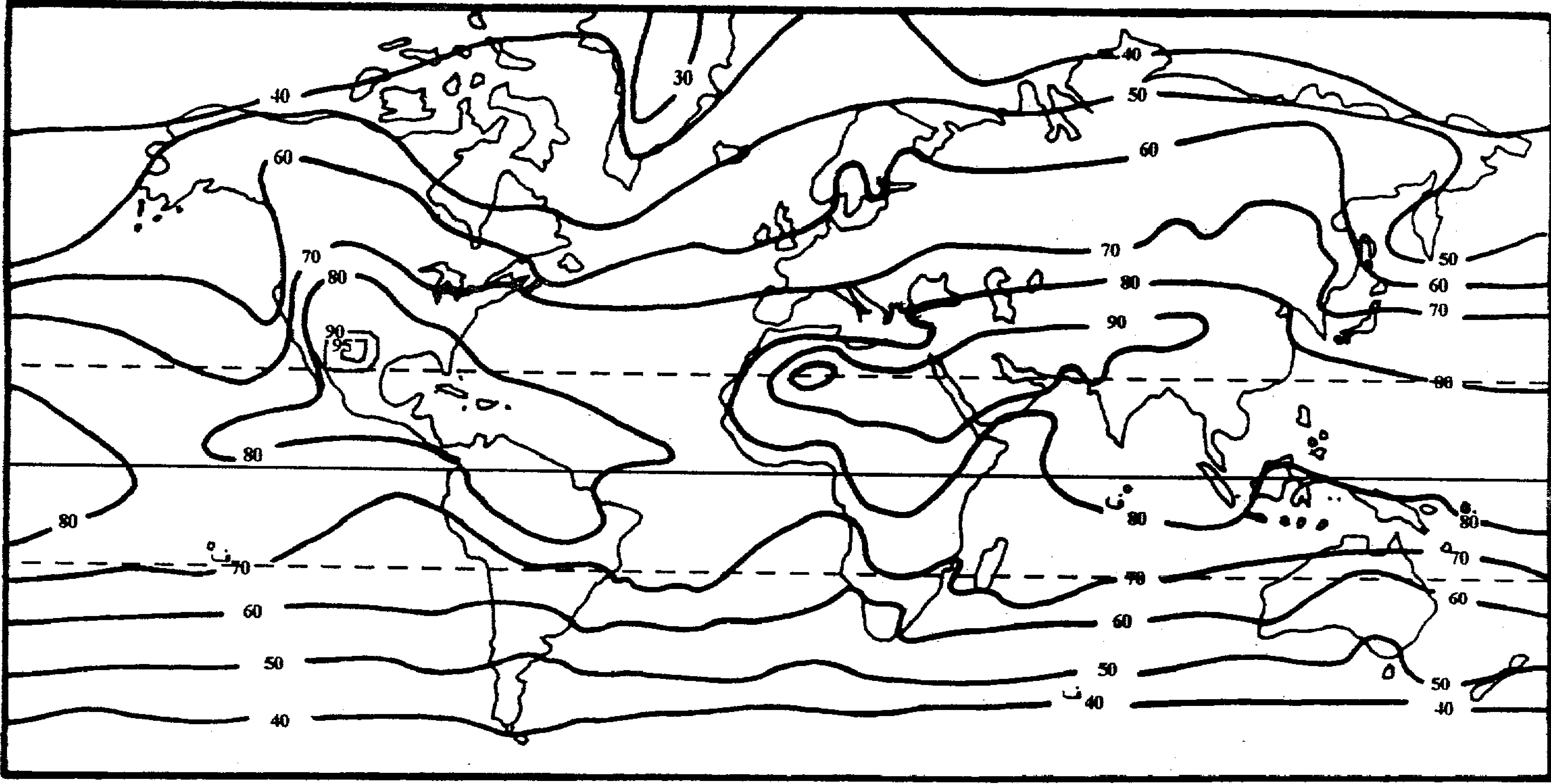
خطوط الحرارة المتساوية فوق سطح العالم خلال فصل الصيف الشمالى :

عندما تتعامد الشمس على مدار السرطان خلال فصل الصيف الشمالى (الشتاء الجنوبى) ترتفع درجة حرارة اليابس كثيراً عن درجة حرارة المسطحات المائية المجاورة والتى تقع عند نفس دوائر العرض، وذلك تبعاً لإكتساب اليابس الحرارة بسرعة وفقدانه لها بسرعة كذلك كما سبقت الإشارة من قبل. ومن ثم ترتفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح أواسط اسيا خلال

هذا الفصل، حيث يتركز فوقها خط الحرارة المتساوى ٨٠° ف وقد ترتفع درجة الحرارة فى بعض المناطق كما هو الحال فى شرقى أفغانستان وأواسط إيران الى نحو ١٠° ف ومن دراسة خريطة خطوط الحرارة المتساوية فى العالم خلال فصل الصيف الشمالى (شكل ٦٦) نلاحظ أن الصحراء الكبرى فى شمال أفريقيا يتمثل فوقها خط ١٠٠° ف، ويقع القسم الكبير من صحارى البلاد العربية فى شمال أفريقيا وجنوب غربى آسيا داخل إطار خط الحرارة المتساوى ٩٠° ف. أما صحراء أريزونا ونيفادا (جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية) فيكاد ينحصر القسم الأكبر من أراضيها داخل إطار خط الحرارة المتساوى ٨٠° ف. وترتفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح صحراء موجاف خلال فصل الشتاء الى نحو ٩٠° ف [1].

وتنخفض درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض بالمناطق الجبلية المرتفعة (كما هو الحال فى شمال غرب قارة أمريكا الشمالية حيث تصل درجة الحرارة هنا الى ٦٠° ف) وتبلغ فى أواسط أوربا نحو ٦٠° ف وفى مرتفعات أطلس بشمال غرب إفريقيا نحو ٧٠° ف. ومن دراسة خطوط الحرارة المتساوية خلال هذا الفصل كذلك، يلاحظ أن حرارة الهواء الملامس لسطح اليابس فى نصف الكرة الجنوبى يعد أبرد من مثيله فى مناطق نصف الكرة الشمالى والواقع عند نفس دوائر العرض، ويعزى ذلك إلى تعامد الشمس على مدار السرطان فى نصف الكرة الشمالى من ناحية وإلى قلة إتساع اليابس وزيادة إتساع المسطحات المائية بنصف الكرة الجنوبى من ناحية أخرى. كما يلاحظ كذلك أن خطوط الحرارة المتساوية فى العروض المعتدلة فيما وراء مدار الجدى فى نصف الكرة الجنوبى (على سبيل المثال خطوط الحرارة المتساوية ٦٠° ف، ٥٠° ف، ٤٠° ف، ٢٠° ف) تبدو أعلى إستقامة فى إمتداداتها عن مثيلتها التى تقع فيما وراء السرطان فى نصف الكرة الشمالى. ويرجع

(1) Trewartha, G. T., "An introduction to Climate", Mc Graw-Hill, N. Y. (1954), p. 33-38.



(شكل ٦٦) التوزيع الجغرافى لخطوط الحرارة المتساوية فى العالم
خلال شهر يوليو (الصيف الشمالى ف°)

ذلك الى زيادة إمتداد المسطحات المائية فى نصف الكرة الجنوبى. فى حين تتشكل خطوط الحرارة المتساوية - التى سبقت الإشارة إليها - فى نصف الكرة الشمالى خلال هذا الفصل بتأثير المرتفعات الجبلية والغطاءات النباتية واليابس المتسع، وبالتيارات البحرية وبالكتل الهوائية المختلفة الخصائص الطبيعية، ومن ثم تبدو خطوط الحرارة هنا أقل إنتظاماً كما تكثر إنحناءاتها وتعاريجها عن مثيلتها فى نصف الكرة الجنوبى (١).

خطوط الحرارة المتساوية فوق سطح العالم خلال فصل الشتاء الشمالى :

عندما تتعامد الشمس على مدار الجدى خلال فصل الشتاء الشمالى (الصيف الجنوبى) ترتفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح اليابس فى نصف الكرة الجنوبى ولكن بدرجة أقل عما هو عليه بالنسبة لليابس فى نصف الكرة الشمالى خلال فصل الصيف الشمالى. وتعد مناطق العروض المدارية فى شمال غرب أستراليا وجنوب غرب أفريقيا وأواسط أمريكا الجنوبية أشد المناطق حرارة فى نصف الكرة الجنوبى حيث تتراوح متوسطات درجة حرارة هذه المناطق خلال هذا الفصل من ٨٠° ف الى ٩٥° ف.

وبالنسبة لسطح اليابس فى نصف الكرة الشمالى يلاحظ أنه يبرد بسرعة خلال هذا الفصل (تبعاً لإتساع اليابس خاصة فى المناطق القارية الواسعة والبعيدة عن المؤثرات البحرية)، وتعد مناطق شمال شرق آسيا وجرينلند وشمال أمريكا الشمالية من أبرد مناطق العالم خلال هذا الفصل. فيبلغ متوسط درجة الحرارة فى شمال شرق آسيا نحو - ٥٠° ف وفى جرينلند نحو - ٤٠° ف، وفى شمال أمريكا الشمالية نحو - ٢٠°ف. وعلى ذلك يرتفع المدى الحرارى السنوى لهذه المناطق القارية (من ٤٠° الى ٨٠° ف) إذا ما قورن بالمدى الحرارى السنوى بالنسبة للأقاليم الساحلية التى تتأثر بالمؤثرات البحرية.

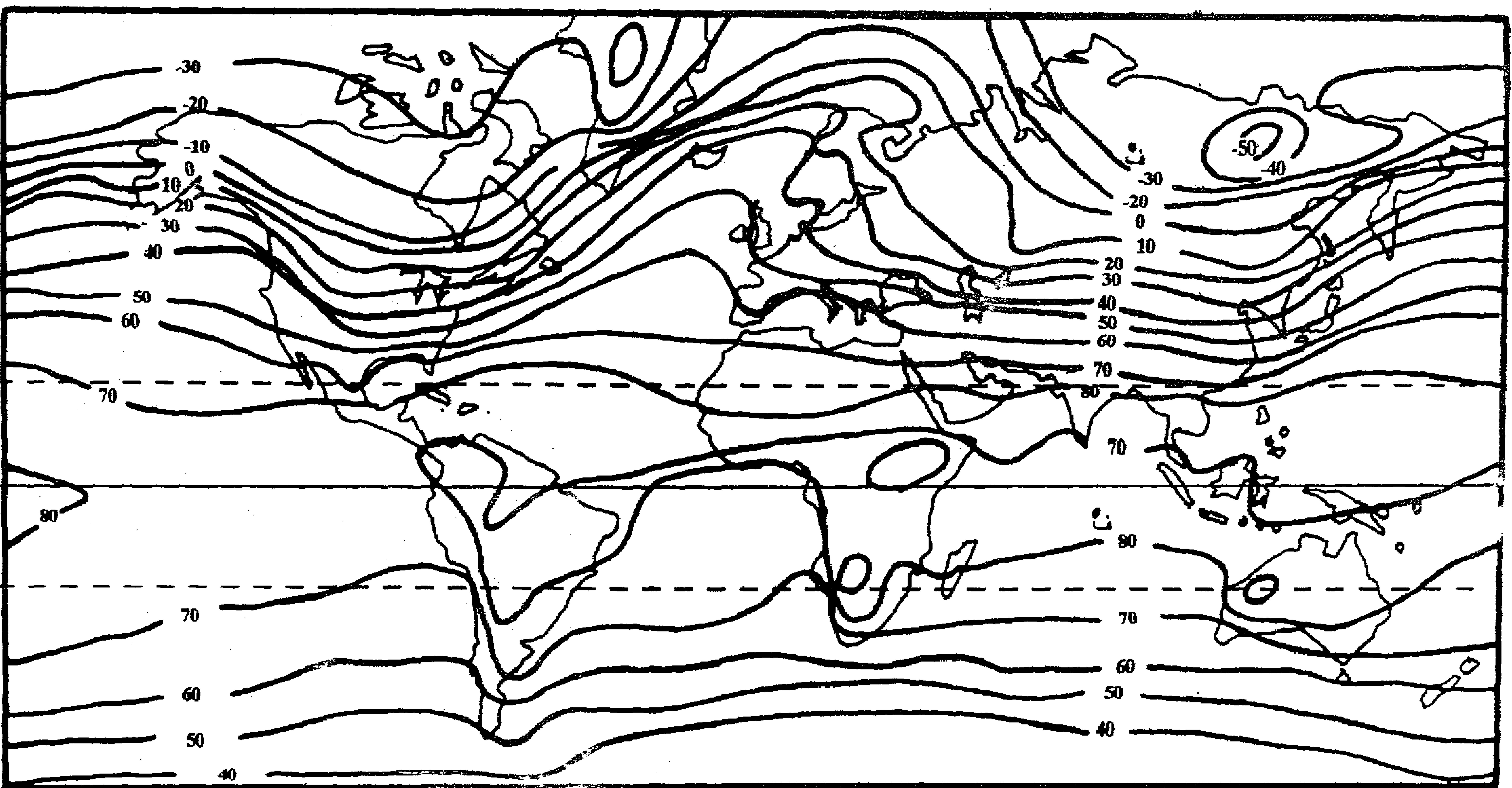
---

(1) Byers, H. R., "General meteorology", Mc Graw-Hill, N. Y. 3rd edi (1959), p. 58-59.

ومن دراسة خريطة خطوط الحرارة المتساوية للعالم خلال فصل الشتاء الشمالي (شكل ٦٧) يتضح أن خط الحرارة المتساوى ٧٠ْ ف يكاد يتمشى مع مدار السرطان (٢٣,٥ْ شمالاً). ونادراً ما ترتفع درجة حرارة أى منطقة من سطح الأرض فى نصف الكرة الشمالى وتقع فيما وراء دائرة عرض ٣٠ْ شمالاً عن ٧٠ْ ف، كما يتبين كذلك بأن خطوط الحرارة المتساوية ٥٠ْ ف، ٤٠ْ ف، ٣٠ْ ف، ٢٠ْ ف، ١٠ْ ف عند إقترابها من السواحل الغربية لقارة أوربا، تتميز بمنحنياتها المحدبة الشكل تبعاً لتأثير فعل تيار المحيط الأطلسى الدفىء الذى يرفع نسبياً من درجة حرارة هواء المناطق الساحلية لغرب أوربا خلال هذا الفصل. فى حين تتميز نفس هذه الخطوط الحرارية المتساوية السابقة فوق قارتى اسيا وأمريكا الشمالية، بمنحنياتها المقعرة، وهذا يرجع الى برودة الهواء الملامس لسطح اليابس المتسع من جهة أخرى وإلى تأثير الكتل الهوائية القطبية الباردة على هذه المناطق خلال فصل الشتاء الشمالى من جهة أخرى.

التغير الرأسى فى درجة حرارة الهواء *Lapse rate* :

لا يقتصر إختلاف قيم درجات حرارة الهواء على تنوعها أفقياً من مكان الى آخر على سطح الأرض، بل تختلف هذه القيم كذلك رأسياً، أى فى نفس المكان الواحد ولكن على إرتفاعات مختلفة. وكما سبقت الإشارة من قبل، فإن درجة حرارة الهواء تنخفض رأسياً كلما إرتفعنا عن سطح الأرض. وتتمثل الأدلة على ذلك فى تكوين القلنسوات الثلجية وخط الثلج الدائم فوق القمم الجبلية العالية على الرغم من أن مواقعها أقرب الى مصدر الإشعاع الشمسى من سطح الأرض المنخفض الواقع حولها. وقد تبين كذلك أن إختلاف درجة الحرارة المرتفعة للهواء الملامس لسطح الأرض عند حرارته المنخفضة فى الطبقات العليا من التروبوسفير إنما يرجع أساساً الى أثر فعل الإشعاع الأرضى الذى يقوم بتسخين الهواء الملامس لسطح الأرض من أسفل الى أعلى وكذلك بمساعدة وجود الغبار وبخار الماء وثانى أكسيد الكربون. وعلى ذلك تنخفض درجة حرارة الهواء كلما إرتفعنا الى أعلى تبعاً لتأثير الإشعاع الأرضى ونقص



(شكل ٦٧) التوزيع الجغرافي لخطوط الحرارة المتساوية في العالم خلال شهر يناير (الشتاء الشمالي ف)

نسبة وجود الأترية الدقيقة الحجم وبخار الماء من جهة. وتخلخل الهواء فى الطبقات العليا من التروبوسفير من جهة أخرى (١).

وقد أكدت أجهزة الرصد الجوى الحديثة للطبقات العليا من التروبوسفير (بإستعمال الطائرات الورقية *Kites* والبالونات *Ballons* والطائرات والصواريخ والراديو سوند - المسبار الجوى والأقمار الصناعية المناخية «المتيوسات») إنخفاض درجة الحرارة كلما ارتفعنا من أسفل الى أعلى فى طبقة التروبوسفير، بل حتى الأطراف العليا لطبقة التروبوبوز *Tropopause*، ويقدر العلماء هذا الإنخفاض بنحو ٣,٣° ف لكل ارتفاع قدره ١٠٠٠ قدم. ويطلق على معدل إنخفاض درجة الحرارة رأسياً مع الإرتفاع تعبير معدل التبريد الذاتى *Adiabatic cooling*. ويختلف قيمة هذا المعدل وفقاً للخصائص الطبيعية للهواء، حيث يرتفع معدل الإنخفاض فى درجة الحرارة كلما تميز الهواء بالجفاف، وتقل قيمته إذا ما كان الهواء رطباً. ويشير المتيورولوجيون الى هذا الهبوط أو الإنخفاض الرأسى (مع الإرتفاع) التدريجى فى درجة الحرارة بإسم معدل الهبوط الرأسى العادى فى درجة الحرارة *Normal Lapse rate* وهنا ينبغى أن نشير الى أن هذا الإنخفاض الرأسى التدريجى لأى مكان على سطح الأرض وفى أى وقت أما إذا أجريت دراسات متيورولوجية تفصيلية لمكان محدد، ورصدت درجات معدل حرارة الهواء وتغيرها رأسياً فوق هذا المكان خلال زمن معين كذلك، فيعرف معدل الهبوط أو الإنخفاض الرأسى فى درجة حرارة الهواء فى هذه الحالة باسم معدل الإنخفاض الحرارى الرأسى الفعلى *Actual Lapse rate*.

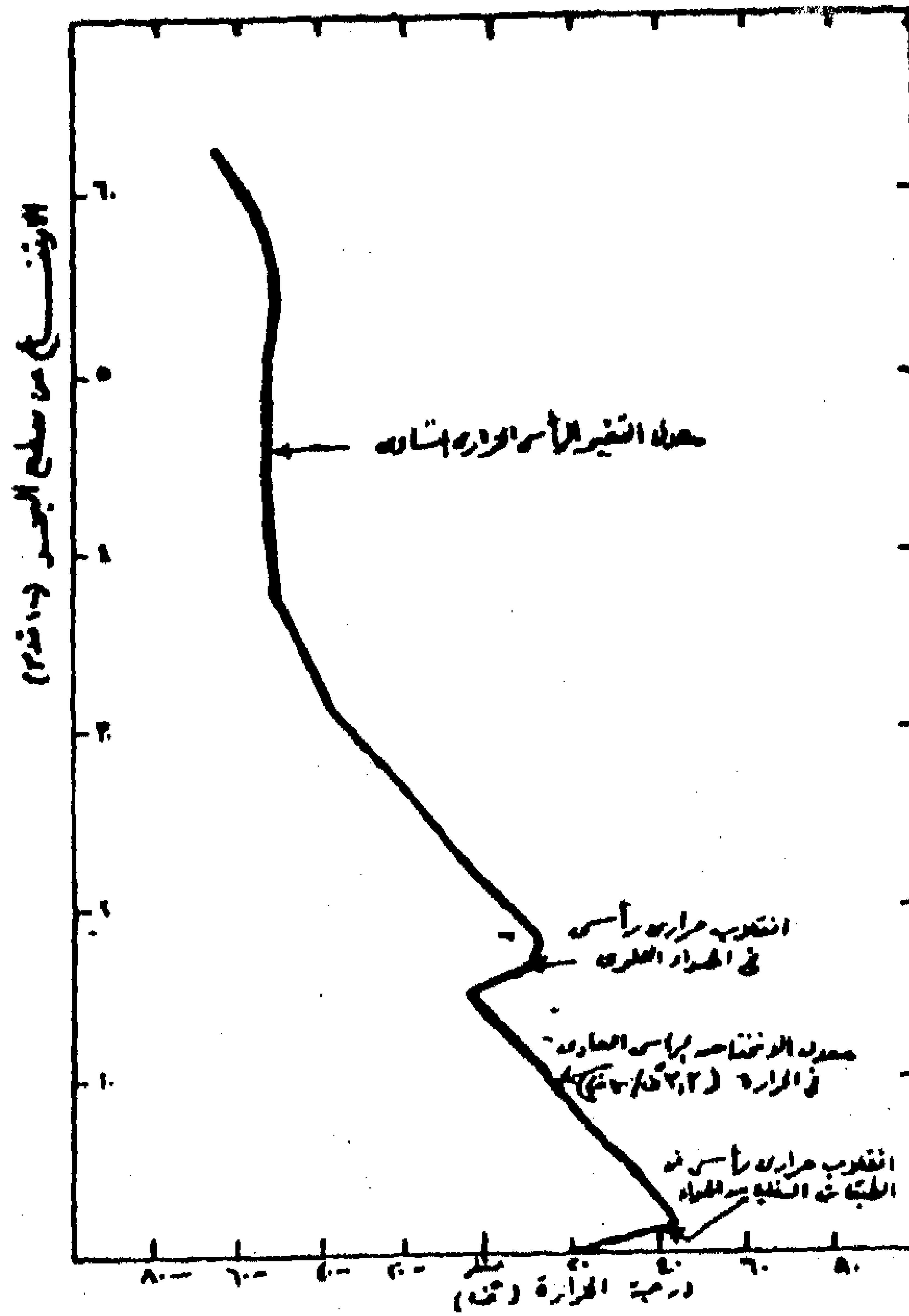
وفى بعض الحالات الشاذة عند دراسة الإنخفاض الرأسى التدريجى فى درجة حرارة الهواء بطبقة التروبوسفير فوق مكان معين قد لا تنخفض الحرارة

---

(1) a - Howard, J. Critchfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J./, 2ed edi (1966), p. 34.

b - Blair, T. A., "Weather elements", Prentice-Hall, N. J. (1959) p. 73-75

فعلاً مع الإرتفاع بل قد تكون درجات حرارة الهواء شبه متشابهة وهنا يطلق على معدل الإنخفاض درجات حرارة الهواء شبه متشابهة وهنا يطلق على معدل الإنخفاض الفعلى الرأسى لدرجة الحرارة تعبير معدل خط الحرارة الرأسى المتساوى *Isothermal lapse rate*، ومثل هذه الحالات المحلية لا تتمثل إلا فى مناطق محدودة المساحة جداً من الهواء وخلال فترات وقتية قصيرة، تزول بمجرد زوال تلك المؤثرات المناخية (شكل ٦٨).



(شكل ٦٨) أشكال تغير معدل الإنخفاض الرأسى Lapse rate فى درجة حرارة الهواء حتى ملسوب ٦٠,٠٠٠ قدم فوق سطح البحر

وقد ينجم عن فعل بعض الظروف الجوية فى الطبقات السفلى من التروبوسفير إنقلاب حالة الإنخفاض أو الهبوط الرأسى العام فى درجة الحرارة *Reversal of the normal lapse rate* ، أو بمعنى آخر قد ترتفع درجة الحرارة رأسياً كلما إرتفعنا من سطح الأرض بالنسبة لمكان معين خلال وقت معين كذلك. وهذا ما يطلق عليه المتيورولوجيون تعبير الإنقلاب الحرارى *A temperature inversion*. ويصبح المعدل الرأسى لإنخفاض درجة الحرارة مقلوباً (١) *Inverted lapse rate*.

(1) Howard, J. Crithfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J., 2ed edi (1966), p. 36.

الفصل الثانى عشر
الضغـــط الجـــــوى

يقصد بالضغط الجوى *Atmospheric pressure* فوق أى نقطة ما من سطح الأرض وزن عمود الهواء الممثل فوق هذه النقطة حتى نهاية الأطراف العليا للغلاف الجوى. ويقدر العلماء وزن عمود الهواء الرأسى للغلاف الجوى فوق مساحة محددة قدرها بوصة مربعة بنحو ١٤,٧ رطلاً. ويعادل هذا الوزن - عند سطح البحر - عموداً من الزئبق إرتفاعه ٧٦ سم (مساحة مقطعه ١ سم٢) أو ٢٩,٩٢ بوصة أو ١٠١٣,٢ ملليبار(١) وقد تبين أن وزن الهواء أو الضغط الجوى يختلف من وقت الى آخر بالنسبة للمكان الواحد. كما يختلف من مكان الى آخر خلال نفس الفترة الوقتية الواحدة.

ومن بين أهم العوامل التى تؤثر فى إختلاف مقدار الضغط الجوى (٢). خاصة عند المستويات الأفقية القريبة من سطح الأرض هى درجة حرارة الهواء فقد تبين أن الضغط الجوى يتناسب تناسباً عكسياً مع درجة حرارة الهواء فإذا ما إرتفعت درجة الحرارة يتمدد الهواء الى أعلى وتقل كثافته ومن ثم يتناقص وزنه وضغطه والعكس صحيح.

كما ينخفض مقدار الضغط الجوى كذلك مع الإرتفاع رأسياً صوب الطبقات العليا من التروبوسفير. وعلى الرغم من إنخفاض درجة حرارة هذه

---

(1) Howard, J., Critchfield. "General Climatology", Prentice-Hall, N. J. (1966), p. 70.

(٢) تبعاً لتغير مقدار الضغط الجوى من ساعة الى أخرى فإن محطات الأرصاد الجوية تقوم بتسجيل مقدار الضغط الجوى ثلاث مرات فى اليوم الواحد وذلك فى الساعة ٨ صباحاً، والساعة ٢ بعد الظهر، والساعة ٨ مساءً.

المناطق العالية من الغلاف الجوى إلا أن الضغط الجوى عندها ينخفض وزنه كذلك، ويعزى ذلك الى نقص مكونات الهواء من الغازات الثقيلة وخفة وزنه وقلة غازاته وقلة إنضغاط الهواء وتخلخله عند هذه الإرتفاعات العالية.

ويقاس الضغط الجوى فوق أى نقطة ما من سطح الأرض بصورة دقيقة للغاية بواسطة البارومتر الزئبقى *Mercurial barometer* بل إنه عند إستخدام الأجهزة الحديثة المتقدمة ينبغى فى البداية التحقق من دقة عمليات قياسها للضغط الجوى بمقارنة قراءاتها وموازنتها بقراءات البارومتر الزئبقى.

وفى بعض الحالات التى يصعب فيها إستخدام البرومتر الزئبقى قد يستخدم جهاز آخر يعرف بإسم البارومتر المعدنى أو اللاسائلى أو بارومتر أنرويد *Aneroid barometer*.

وقد شاع إستخدام وحدة المليبار فى قياس الضغط الجوى. والمليبار هى عبارة عن الوحدة الديناميكية لقوة الضغط التى تقع على مساحة قدرها ١ سم٢ وتعادل ٠,٠٠١ من البار *Bar* . ويمثل المليبار قوة ١٠٠٠ داين *Dyne* لكل ١ سم٢ (١). وعند قياس الضغط الجوى يجب أن نضع فى الإعتبار أن .

أ – كل ملليبار واحد يعادل ٠,٢٩٥٢٩٩ بوصة من الزئبق.

ب – كل بوصة زئبق واحدة تعادل نفس الضغط الجوى عند ٣٣,٨٦٣٩٥

---

(١) داين Dyne : وحدة أساسية صغيرة جداً لقياس القوة فى النظام المترى وهى تساوى القوة غير الموازنة التى أثرت فى كتلة قدرها جرام واحد أكسبتها عجلة قدرها سنتيمتر فى الثانية، ولاحظ أن :

النيوتن Newton = ١٠٠ ملليبار.

الملليبار = ١٠٠٠ داين.

النيوتن = ١٠٠,٠٠٠ داين

راجع :

أ – د. أحمد رياض تركى «المعجم العلمى المصور» ـ دار المعارف (١٩٦٣) ص ١٩٥.

ب – محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦) ص ١٤٥.

مللبيار.

جـ - مقدار الضغط الجوى العادى عند سطح البحر هو ١٠١٣,٢ مللبيار.

وعلى ذلك فإن العمود الزئبقى الذى يمثل الوزن العادى للضغط الجوى عند مستوى سطح البحر يعادل - كما سبقت الإشارة من قبل - ١٤,٧ رطلاً لكل بوصة مربعة أو ٢٩,٩٢ بوصة من الزئبق أو ١٠١٣,٢ مللبيار. وقد إتفق المتيورولوجيون على أن مقدار الضغط الجوى العادى عند سطح البحر (١٠١٣,٢ مللبيار) يعادل رقم «١» ويعرف هذا الرقم بإسم «وحدة الجو» *Atmospher* فإذا إنخفض الضغط الجوى عن مقدار الضغط الجوى العادى فتكون قيمته أقل من ١ «جو» فى حين إذا ارتفع الضغط الجوى عن مقدار الضغط الجوى العادى تكون قيمته أكبر من ١ «جو» ويوضح الجدول الآتى مقارنة لبعض قيم الضغط الجوى بالمقاييس المختلفة (١).

مللبيار	بوصات	سنتميترات	الرقم الجوى المصطلح عليه (جو) Atmosphere
٩٤٠	٢٧,٧٦	٧٠,٥١	٠,٩٢٦
٩٥٠	٢٨,٠٥	٧١,٢٥	٠,٩٣٧
٩٦٠	٢٨,٣٥	٧٢,٠١	٠,٩٤٧
٩٧٠	٢٨,٦٥	٧٢,٧٧	٠,٩٥٧
٩٨٠	٢٩,٩٤	٧٣,٥١	٠,٩٦٧
٩٩٠	٢٩,٢٤	٧٤,٢٧	٠,٩٧٧
١٠٠٠	٢٩,٥٢	٧٥,٠١	٠,٩٨٧
١,٠١٠	٢٩,٨٣	٧٥,٧٧	٠,٩٩٧
١,٠١٣	٢٩,٩٢	٧٦,٠٠	١
١٠٢٠	٣,١٢	٧٦,٥	١,٠٠٦
١٠٣٠	٣,٤٢	٧٧,٢٧	١,٠١٦
١٠٤٠	٣,٧١	٧٨,٠٠	١,٠٢٦
١٠٥٠	٣١,٠١	٧٨,٧٧	١,٠٣٥

(1) Howard, J. Crithfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J. (1966), p. 73.

التغير الرأسى للضغط الجوى :

ترتفع كثافة الهواء بالقرب من سطح الأرض وتقل كثافته وينخفض مقدار ضغطه كلما إرتفعنا الى أعلى فى الطبقات العليا من الغلاف الجوى، ويرجع ذلك الى إنضغاط الطبقات السفلى من الغلاف الجوى تحت تأثير الكتل الهوائية العلوية، وإلى قلة وزن غازات الهواء العلوى وتخلخله () . وقد تبين أن حوالى نصف كتلة الغلاف الجوى تقع على إرتفاع ١٨,٠٠٠ قدم فقط من سطح البحر، وعلى ذلك فإن مقدار الضغط الجوى عند هذه الإرتفاعات، يبلغ حوالى نصف مقدار الضغط الجوى المقاس عند سطح البحر. كما تتوقف الكثافة الفعلية للهواء على التغير فى درجة حرارته ونسبة رطوبته وأثر فعل الجاذبية الأرضية. وتبعاً لتغير قيم هذه العوامل رأسياً على طول قطاع رأسى فى الغلاف الجوى فإنه من الصعب إيجاد علاقة منتظمة توضح مدى إنخفاض مقدار الضغط الجوى مع الإرتفاع رأسياً عن سطح البحر. ومع ذلك رجح بعض العلماء بأن معدل إنخفاض الضغط الجوى مع الإرتفاع يقدر بنحو ١/٣٠ من مقدار الضغط الجوى لكل زيادة رأسية قدرها ٩٠٠ قدم (فى نطاق التروبوسفير).

ويلاحظ من دراسة الجدول الإنخفاض الكبير فى مقدار الضغط الجوى كلما إرتفعنا رأسياً عن مستوى سطح البحر (٢) . فإذا كان مقدار الضغط الجوى عند سطح البحر يبلغ ١٠١٣,٢ ملليبار (٢٩,٩٢ بوصة) فإنه عند إرتفاع ٥٠٠٠ قدم (من سطح البحر) يبلغ نحو ٨٤٣,١ ملليبار (٢٤,٨٩ بوصة). ولذلك يصاب كثير من الناس بدوار الجبال *Mountain sickness* وضيق التنفس عند صعودهم المناطق الجبلية العالية تبعاً لإنخفاض الضغط الجوى وتخلخل الهواء

---

(1) a - Kendrew, W. G., "Climatology", 3rd edi Oxford Univ. Press (1949).

b - Landsberg. H., "Physical Climatology", Pennsylvania (1941).

(2) Trewartha, G. T.a "An Introduction to Climate", N. Y. (1954) p. 55.

عند هذه الإرتفاعات العالية (١).

الإرتفاع عن سطح البحر (قدم)	مقدار الضغط الجوى (ملليبار)	مقدار الضغط الجوى (بوصات)
سطح البحر	١٠١٣,٢٥	٢٩,٩٢١
٤,٠٠٠	٨٧٥,١٠٠	٢٥,٨٤٠
٥,٠٠٠	٨٤٣,١١٠	٢٤,٨٩٧
١٠,٠٠٠	٦٩٦,٩٤٠	٢٠,٥٨١
١٥,٠٠٠	٥٧٢,٠٦٠	١٦,٨٩٠
٢٠,٠٠٠	٤٦٦,٠٠٠	١٣,٧٦٠
٢٥,٠٠٠	٣٧٦,٠٠٠	١١,١١٠
٥٠,٠٠٠	١١٦,٦٤٠	٣,٤٤٠
١٠٠,٠٠٠	١١,٠٥٠٠	,٣٢٦
٢٥٠,٠٠٠	٠,٠٢٠	,٠٠٠٦

التوزيع الأفقى (الجغرافى) للضغط الجوى على سطح الأرض :
Horizonatal Pressure Distribution

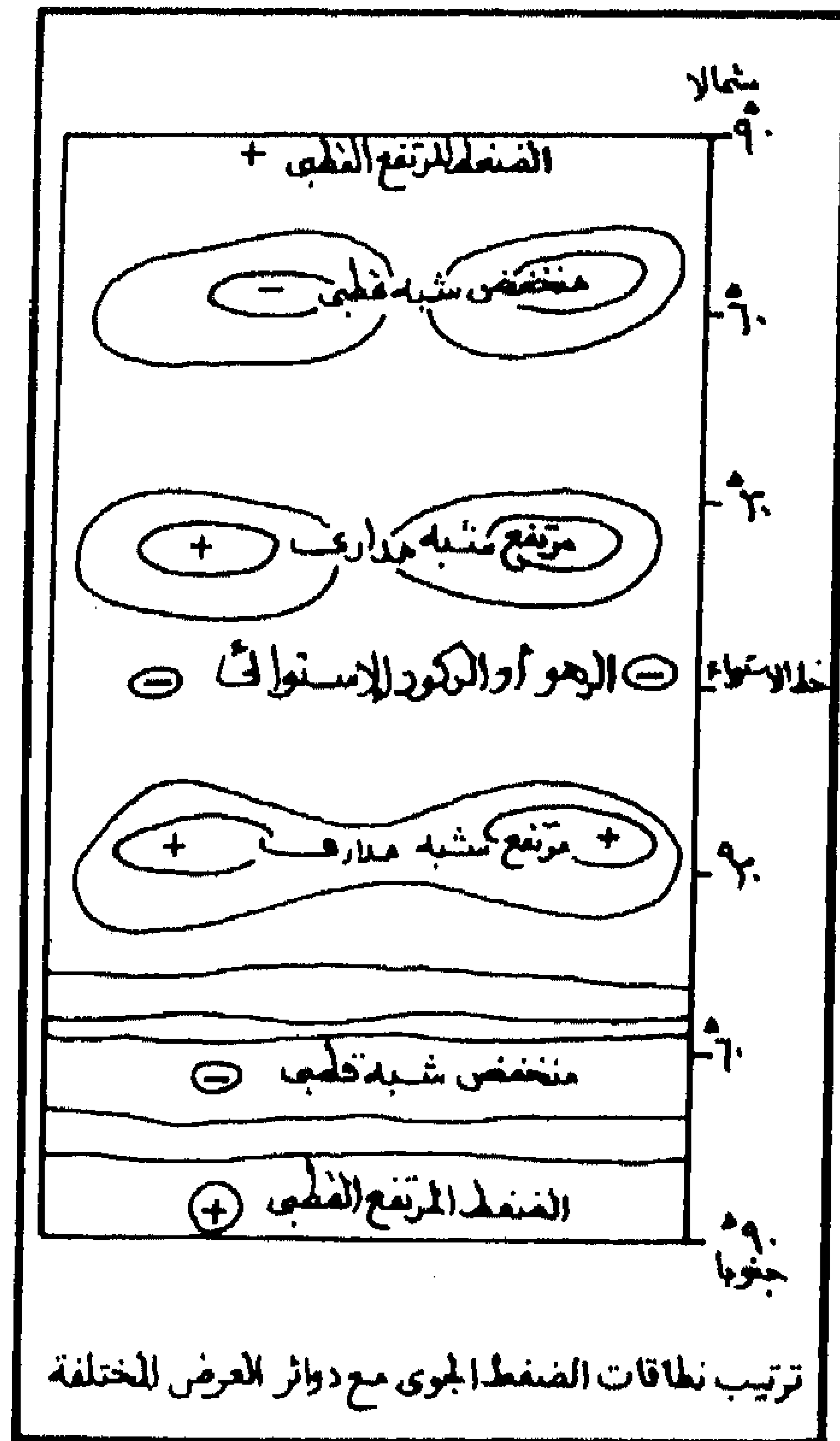
وقد يتضح للباحث عند مقارنة قراءات الضغط الجوى بمحطات الأرصاد الجوية المنتشرة على سطح الأرض، إختلافات بسيطة فى مقدار الضغط الجوى للهواء الملامس لسطح الأرض، ومع ذلك فقد يكون لهذه الإختلافات تأثيرات هامة فى تشكيل الحالة العامة للطقس المحلى وتنوعه من منطقة الى أخرى على سطح الأرض. ويتراوح متوسط مقدار الضغط الجوى عند سطح البحر من ٢٩,٠٠ بوصة الى ٣٠,٥٠ بوصة (٩٨٢ الى ١٠٣٣ ملليبار). وقد سجلت أدوات القياس أعلى مقدار للضغط الجوى عند سطح البحر- عند بلدة أركوتسك

(1) a - Kendrew. W. G., "Climate", Oxford Univ. Press (1938), p. 70 3rd edi (1949).

ب – محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦) ص ١٥١ .

Irkustsk فى سيبريا يوم ٤ يناير ١٨٩٣ ويبلغ مقداره ١٠٧٥,٢ ملليبار (٣١,٧٥ بوصة)، فى حين بلغ أقل مقدار للضغط الجوى تم رصده عند مركز أو عين أعصار التيفون غرب جزر ماريانا فى يوم ٢٤ سبتمبر ١٩٥٨ نحو ٨٧٧ ملليبار (٢٥,٩٠ بوصة).

ويوضح (شكل ٦٩) الترتيب المثالى لنطاقات الضغط مع دوائر العرض المختلفة. وتكاد هذه النطاقات تتفق مع النطاقات الحرارية الكبرى فوق سطح الأرض ويتلخص هذا النظام فيما يلى :



(شكل ٦٩) ترتيب نطاقات الضغط الجوى مع دوائر العرض المختلفة

أ - نطاق الضغط المنخفض الإستوائى :
Equatorial low or Doldrums

ويمتد هذا النطاق فيما بين دائرتى عرض ٥° شمالاً وجنوباً ويقل فيه الضغط الجوى عن ٢٩,٩٢ بوصة (١٠١٣,٢ ملليبار)، ويطلق عليه اسم نطاق الضغط المنخفض الإستوائى الدائم أو الرهو الإستوائى، وتنجذب نحوه الرياح التجارية الآتية من المناطق المدارية.

ب - نطاقا الضغط المرتفع شبه المدارى بنصفى الكرة الأرضية :
Subtropic Highs

فى هذين النطاقين بنصفى الكرة الأرضية يهبط الهواء من أعلى الى أسفل فيما بين دائرتى عرض ٢٥° - ٣٥° شمالاً وجنوباً. وتسمى هذه العروض باسم «عروض الخيل» *Horse latitudes*، وتخرج منهما الرياح التجارية الشمالية الشرقية فى نصف الكرة الشمالى، والرياح التجارية الشرقية فى نصف الكرة الجنوبى، وتتجه هذه الرياح نحو مناطق الرهو الإستوائى، لتحل محل الهواء الذى يصعد الى أعلى عند هذه المناطق الأخيرة.

جـ - نطاقا الضغط المنخفض شبه أو دون القطبى :
Sub-polar lows

ويتمثل هذان النطاقان فيما بين دائرتى عرض ٦٠° - ٦٥° شمالاً وجنوباً تقريباً، ويتكون الضغط المنخفض الفصلى هنا تبعاً لصعود الهواء الى أعلى من جهة ولزيادة نسبة الرطوبة من جهة أخرى، وتتجه الى هذين النطاقين الرياح العكسية الغربية والرياح القطبية (الشمالية فى نصف الكرة الشمالى والجنوبية فى نصف الكرة الجنوبى).

د - نطاقا الضغط المرتفع عند القطبين *Polar highs* :

يتكون عن القطبين نطاقان من الضغط الجوى المرتفع تبعاً لهبوط الهواء من أعلى الى أسفل لشدة برودته، وتتجه من هذين النطاقين الرياح القطبية

(الشمالية والجنوبية فى نصفى الكرة الأرضية) نحو الضغط المنخفض شبه القطبى فى نصف الكرة الأرضية.

وإذا كانت نظم الضغط الجوى المختلفة هى إنعكاساً لإختلافات درجة حرارة الهواء فى طبقة التروبوسفير، فإن إختلافات مقادير الضغط الجوى من مكان الى آخر تؤثر بدورها فى نشوء نظم الحركة *Systems of motion* فى الغلاف الجوى، ومن ثم فى نظم حركة الرياح وفى إتجاهاتها الدائمة والفصلية وفى مدى سرعتها وفى نشوء الزوابع والأعاصير المدارية والإنخفاضات الجوية. وعلى ذلك يختلف نظام الضغط الجوى على سطح الكرة الأرضية فى فصل الشتاء (الشمالى) عن ذلك الذى يتمثل على سطح الأرض خلال فصل الصيف (الشمالى).

أ - الضغط الجوى على سطح الأرض خلال فصل الشتاء (الشمالى) :

خلال هذا الفصل تتعامد الشمس على مدار الجدى فى نصف الكرة الجنوبى ويكون الهواء الملامس لسطح الأرض فى نصف الكرة الشمالى أبرد نسبياً من الهواء الملامس للمسطحات المائية المجاورة له والواقعة معه عند نفس دوائر العرض، ومن ثم يرتفع مقدار الضغط الجوى فوق اليابس وينخفض مقداره نسبياً فوق المسطحات المائية. وعلى ذلك تنتقل الرياح خلال هذا الفصل (بالنسبة لنصف الكرة الشمالى) من مراكز الضغط المرتفع على اليابس الى مراكز الضغط المنخفض فوق المسطحات المائية المجاورة.

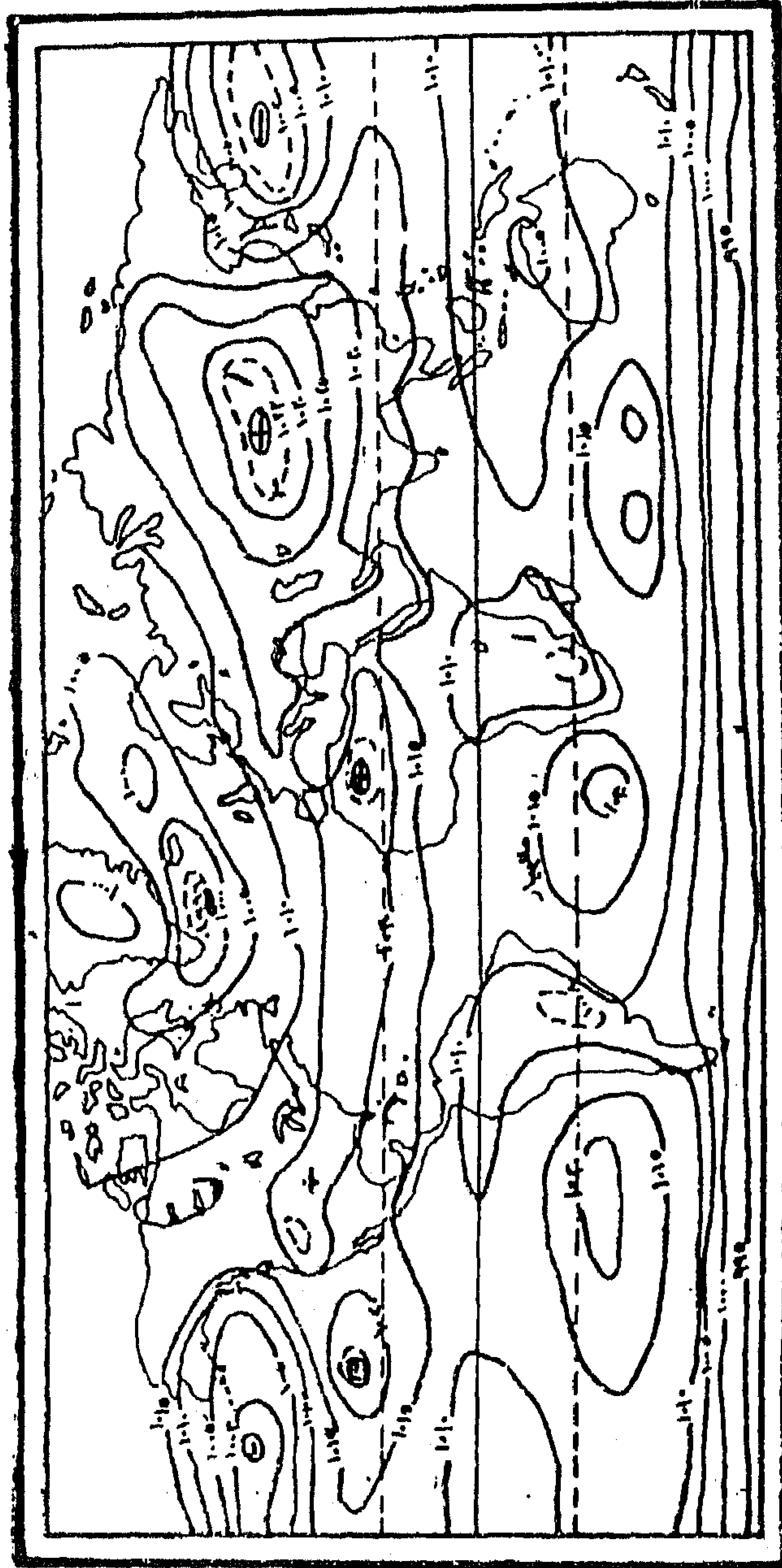
وبالنسبة لنصف الكرة الشمالى فإن أعلى مراكز الضغط الجوى المرتفع خلال هذا الفصل تتمثل فوق أراضى سيبريا الواسعة حيث يصل مقدار الضغط الجوى هنا الى نحو ١٠٣٣ ملليبار ويعرف نطاق الضغط الجوى هنا باسم الضغط المرتفع السيبرى، وتكاد تنحصر كل أواسط وشرق أوربا ومعظم قارة آسيا داخل إطار خط الضغط المتساوى ١٠٢٠ ملليبار، فى حين يتمثل فوق المسطحات المائية المجاورة (خاصة فوق المحيط الهادى وشرق اليابان)

مناطق من مراكز الضغط المنخفض الشتوى (تبعاً لدفء المياه عن اليابس خلال هذا الفصل)، ويصل مقدار الضغط الجوى هنا الى ١٠٠٢ ملليبار، أى أقل من مقدار الضغط الجوى المنخفض الدائم فوق المناطق الإستوائية خلال فصل الشتاء (الشمالى) والذى يبلغ نحو ١٠٠٥ ملليبار. وتتركز مناطق الضغط المرتفع الشتوى القارية فوق القسم الشمالى من قارة أفريقيا (١٠٢٢ ملليبار) وكذلك فوق أواسط قارة أمريكا الشمالية (١٠٢٣ ملليبار)، فى حين ينخفض الضغط الجوى فوق المسطحات المائية المجاورة لهذه المواقع وعند نفس دوائر العرض، فيبلغ الضغط الجوى فوق المسطحات المائية للمحيط الأطلسى الأوسط نحو ١٠٢٠ ملليبار ويتراوح الضغط الجوى فوق المحيط الهادى الأوسط من ١٠١٥ ملليبار الى ١٠٢٠ ملليبار (شكل ٧٠).

وفى نصف الكرة الجنوبى يلاحظ أن الهواء الملامس لليابس يكون أعلى حرارة من الهواء الملامس للمسطحات المائية خلال هذا الفصل (الشتاء الشمالى أى الصيف الجنوبى) تبعاً لتعامد الشمس على مدار الجدى فى نصف الكرة الجنوبى. وعلى ذلك تتمركز مناطق الضغط المنخفض فوق منطقة مدار الجدى وبوجه خاص فوق شمال غرب أستراليا وجنوب أفريقيا وشرق أمريكا الجنوبية. ويتراوح مقدار الضغط الجوى المنخفض هنا من ١٠٠٥ الى ١٠١٠ ملليبار، فى حين تتكون مراكز الضغط المرتفع فى نصف الكرة الجنوبى خلال هذا الفصل فوق المسطحات المائية للمحيط الهندى (١٠٢٠ ملليبار) وفوق المحيط الأطلسى الجنوبى (١٠١٥ ملليبار إلى ١٠٢٠ ملليبار) وفوق المحيط الهادى الجنوبى (١٠١٦ ملليبار إلى ١٠٢١ ملليبار).

ب - الضغط الجوى على سطح الأرض خلال فصل الصيف (الشمالى) :

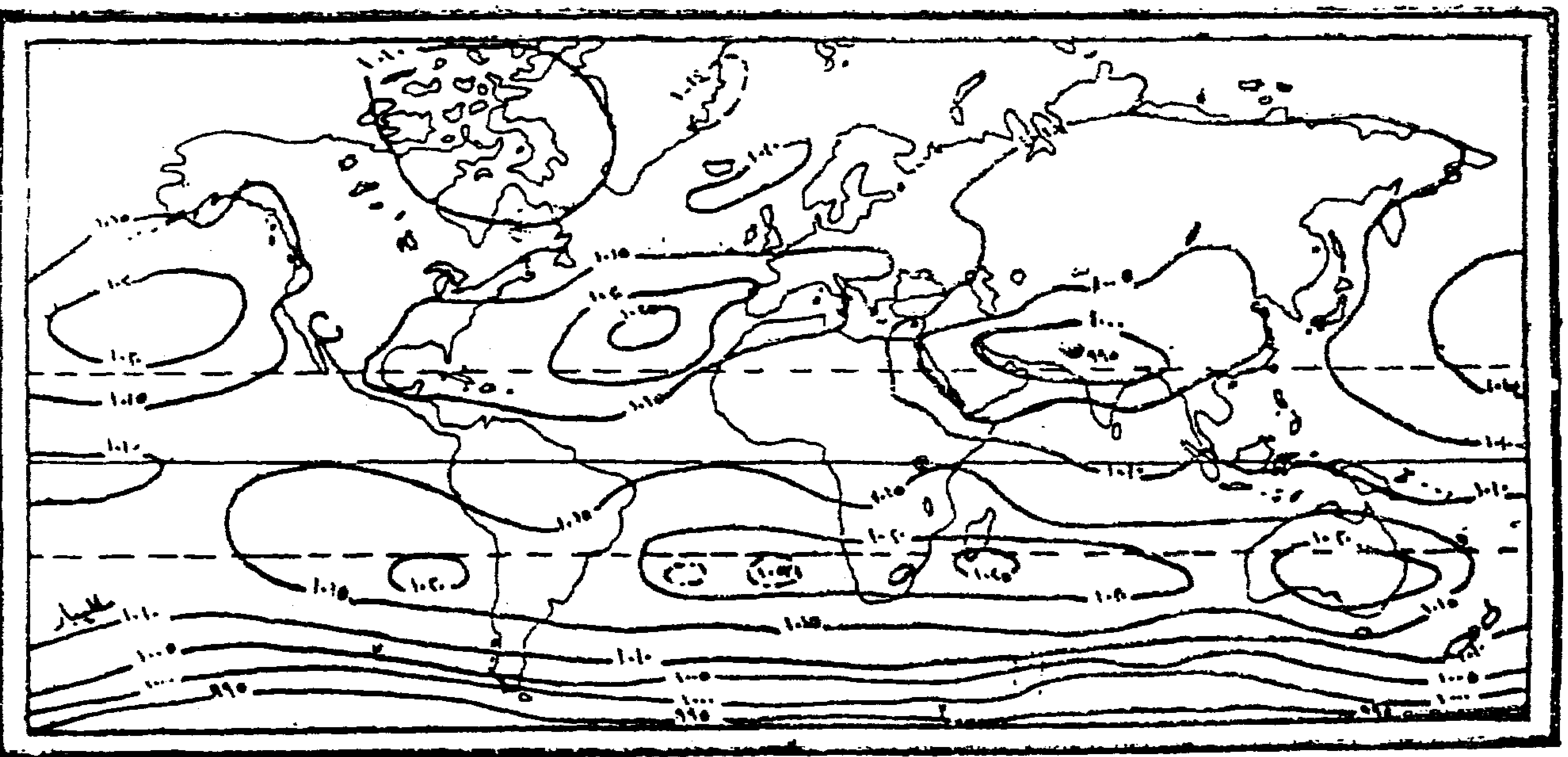
بالنسبة لنصف الكرة الشمالى تكون الشمس متعامدة على مدار السرطان خلال هذا الفصل، ومن ثم يكون الهواء الملامس لسطح اليابس فى نصف الكرة الشمالى أعلى حرارة من الهواء الملامس للمسطحات المائية المجاورة له



(شكل ٧٠) التوزيع الجغرافي لخطوط الضغط المتساوي في العالم (في فصل الشتاء الشمالي بالمليبار)

والواقعة معه عند نفس دوائر العرض، ومن ثم ينخفض مقدار الضغط الجوى فوق اليابس ويرتفع مقداره نسبياً فوق المسطحات المائية. وتنتقل الرياح فى نصف الكرة الشمالى خلال هذا الفصل من مراكز الضغط الجوى المرتفع فوق المسطحات المائية، وتتجه الى مراكز الضغط الجوى المنخفضة فوق اليابس المجاور.

وعلى ذلك فإن أعلى مراكز الضغط الجوى المنخفض خلال فصل الصيف الشمالى تتمثل فوق أواسط آسيا حيث يصل مقداره هنا الى نحو ١٠٠٥ ملليبار ويقل الضغط الجوى على ذلك فوق صحراء ثار فى الباكستان الإسلامية، ويصل مقدار الضغط الجوى هنا نحو ٩٩٥ ملليبار وترتفع درجة الحرارة فى هذه المنطقة بدرجة أعلى من حرارة الهواء عند المناطق الإستوائية خلال هذا الفصل، بل يسجل فى منطقة صحراء ثار أعلى درجة حرارة، وأقل مقدار للضغط الجوى بالنسبة لأى مكان آخر على سطح الأرض خلال هذا الفصل (شكل ٧١) ويعرف الضغط الجوى المنخفض هنا باسم الضغط المنخفض الهندى فى حين يتمثل فوق المسطحات المائية المجاورة بنصف الكرة الشمالى مراكز من الضغط المرتفع النسبى، ويصل مقدار الضغط الجوى ١٠١٥ ملليبار فوق مياه المحيط الهندى جنوب شبه القارة الهندية - الباكستانية - وعلى ذلك تنتقل الرياح من مراكز الضغط المرتفع فوق المسطحات المائية خلال هذا الفصل الى مراكز الضغط المنخفض فوق اليابس. وتتمركز مناطق الضغط المنخفض القارية صيفاً فوق القسم الشمالى من قارة أفريقيا (١٠١٥ ملليبار) وفوق جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية (١٠١٠ ملليبار) فى حين يرتفع الضغط الجوى فوق المسطحات المائية المجاورة لهذه المواقع الأخيرة وعند نفس دوائر العرض، فيبلغ الضغط الجوى فوق المسطحات المائية للمحيط الأطلسى الأوسط خلال هذا الفصل نحو ١٠٢٥ ملليبار ويتمركز الضغط المرتفع هنا حول جزر الآزور، ومن ثم عرف نطاق الضغط الجوى هنا باسم نطاق الضغط المرتفع الآزورى، ويصل مقدار الضغط الجوى فوق مياه المحيط الهادى الأوسط الى نحو ١٠٢٠ ملليبار ويطلق على الضغط المرتفع المتمركز



(شكل ٧١) التوزيع الجغرافي لخطوط الضغط المتساوي في العالم (الصيف الشمالي) بالمليبار

حول قوس جزر الوشيان (غرب ألسكا) اسم الضغط المرتفع الآلوشي.

وفي نصف الكرة الجنوبي خلال هذا الفصل (الصيف الشمالي أى الشتاء الجنوبي) يكون الهواء الملامس لسطح اليابس أقل حرارة من الهواء الملامس للمسطحات المائية، تبعاً لتعامد الشمس على مدار السرطان في نصف الكرة الشمالي. وعلى ذلك تتكون مراكز من الضغط الجوى المرتفع في أواسط أستراليا وغربها وكذلك في جنوب أفريقيا وأواسط أمريكا الجنوبية، ويتراوح مقدار الضغط الجوى هنا من ١٠١٥ الى ١٠٢٠ ملليبار في حين تتكون مراكز من الضغط المنخفض في نصف الكرة الجنوبي خلال هذا الفصل فوق المسطحات المائية للمحيط الهندى (يتراوح مقداره من ١٠١٠ إلى ١٠١٥ ملليبار) وفوق المحيط الأطلسي الجنوبي (١٠١٥ ملليبار) وفوق مياه المحيط الهادى الجنوبي (من ١٠١٠ الى ١٠١٥ ملليبار).

وتتزحزح نطاقات الضغط المختلفة عند دوائر العرض في نصف الكرة مع حركة الشمس الظاهرية فيما بين المدارين. فعندما تتعامد الشمس على مدار السرطان في نصف الكرة الشمالي تقع كل منطقة الرهو الإستوائي ومناطق صعود الهواء فيما بين المدارين *Inter-tropical Convergence I. T. C.* الى الشمال من الدائرة الإستوائية في حين يتمركز الضغط المرتفع شبه المدارى عند دائرة عرض ٣٥° شمالاً تقريباً، وتتزحزح مناطق الضغط المنخفض شبه القطبي *Subpolar low* عند دائرة عرض ٦٠° شمالاً، أما خلال فصل الشتاء الشمالي عندما تتعامد الشمس على مدار الجدى في نصف الكرة الجنوبي فإن قسماً صغيراً من منطقة الرهو الإستوائي تقع في نصف الكرة الشمالي ويتزحزح نطاق الضغط المرتفع شبه المدارى جنوباً مع حركة الشمس ويتمركز عند دائرة عرض ٢٥° شمالاً، ويتزحزح جنوباً كذلك نطاق الضغط المنخفض شبه القطبي ويتمركز عند دائرة عرض ٤٥° شمالاً. ونتيجة للتغير الفصلي في نطاقات الضغط المختلفة على سطح الأرض، تسقط فوق بعض المناطق الحدية أمطار فصلية.

الفصل الثالث

الريـــاح وانـــواعـها

على الرغم من أن الإنسان لا يرى الهواء أو الرياح إلا أنه يشعر بوجود الرياح وإتجاه حركتها، وذلك بملاحظته للإتجاه الذى تتحرك إليه السحب السفلية، وألسنة الدخان، وأغصان الأشجار وأمواج البحار. بل يمكن للملاحظ المتمرس أن يشاهد هذه الظاهرات السابقة ويحدد إتجاه الرياح *Wind direction* وكذلك سرعتها *Speed*. وقد وضع فرنسيس بيوفورت *Francis Beaufort* فى عام ١٨٠٥ مقياساً نسبياً يقيس به سرعة الرياح (١). وإعتمدت فكرة هذا المقياس على تصنيف الرياح الى أنواع مختلفة بحسب مدى إستجابة تحرك الأشياء والظاهرات لها. وقسم بيوفورت الرياح بحسب إختلاف سرعتها الى ١٢ نوعاً، بحيث تبدأ بحالة الهواء الساكن (الدرجة صفر) وتنتهى لحالة الإعصار (الدرجة ١٢) ويتلخص مقياس بيوفورت فى الجدول الآتى :

---

(١) أ - محمود حامد محمد «المتيورولوجية»، القاهرة (١٩٤٦) ص ١٩٨.

b - Blair, T. A., "Weather elements", N. J. (1960) p. 3.

c - Trewartha, G. T., "An introduction to climate", N. Y. (1954), p. 62.

e - Byers, H. R., "General meteorology", 3cd edit. Mc Graw-Hill N. Y (1959), p. 88.

درجة الرياح	نـــــوع الريـــــــاح		السرعة (ميل فى الساعة)	السرعة (بالعقدة)	مدى إستجابة الأشياء للرياح
صفر	هواء ساكن	Calm	أقل من ١	١	ارتفاع الدخان الى أعلى.
١	هواء خفيف	Light air	١ – ٣	١ – ٣	يحرك الدخان أفقياً.
٢	نسيم طفيف	Light breeze	٤ – ٧	٤ – ٦	يحرك أوراق الأشجار ودوارة الرياح.
٣	نسيم هادئ	General breeze	٨ – ١٢	٧ – ١٠	يحرك رايات الإعلام.
٤	نسيم معتدل	Moderate breeze	١٣ – ١٨	١١ – ١٦	يثير الأتربة وتتطاير أوراق الأشجار.
٥	نسيم عليل	Fresh breeze	١٩ – ٢٤	١٧ – ٢١	يحرك أغصان الأشجار الكبيرة.
٦	نسيم قوى	Strong breeze	٢٥ – ٣١	٢٢ – ٢٧	يحرك أغصان الأشجار الكبيرة والأمواج.
٧	رياح عالية	Moderate gale	٣٢ – ٣٨	٢٨ – ٣٣	يصعب السير فى الاتجاه المضاد للرياح.
٨	هوجاء	Fresh gale	٣٩ – ٤٦	٣٤ – ٤٠	يكسر بعض أغصان الأشجار.
٩	هوجاء شديدة	Strong gale	٤٧ – ٥٤	٤١ – ٤٧	يكسر الساريات وتقع المداخن.
١٠	هوجاء عاصف	Whole gale	٥٥ – ٦٣	٤٨ – ٥٥	يقتلع الأشجار ويسبب الدمار.
١١	عاصفة	Storm	٦٤ – ٧٥	٥٦ – ٦٥	تدمير شديد وتتطاير أسقف المنازل.
١٢	أعصار (هريكين)	Hurricane	أكثر من ٧٥	أكثر من ٦٥	تخريب عام شديد، قد تسقط الطائرات وقد تغرق السفن.

ولقياس سرعة الرياح [١] يستخدم جهاز الأنيمومتر *Anemometer* وخاصة جهاز روبنسون ذو الفناجين أو الطاسات *Robinson cup anemometer* الذى تستخدمه كل أفرع مكتب الطقس *Weather Bureau* بالولايات المتحدة الأمريكية [١].

الدورة العامة للرياح :

تؤثر درجة حرارة الهواء فى تنوع مقدار الضغط الجوى، كما يؤثر نوع الضغط الجوى ومدى إنحداره فى إتجاه الرياح وإختلاف سرعتها على سطح الأرض. وقد سبقت الإشارة من قبل الى أن مقدار الإشعاع الشمسى فى المناطق الإستوائية وتلك الواقعة فيما بين المدارين يعد مقداراً موجباً، بمعنى أن الكمية المكتسبة من الحرارة فى هذه المناطق تعد أعلى من كمية الحرارة المفقودة. ومن ثم يتمثل فى هذه المناطق كميات كبيرة من الحرارة الكامنة *Latent Heat*، ويصعد الهواء الساخن المشبع ببخار الماء - فى المناطق الإستوائية وبوجه خاص عند المسطحات المائية الواسعة - الى أعلى على شكل

---

(١) تستخدم بعض الدول - كما هو الحال فى الولايات المتحدة الأمريكية - عند قياس سرعة الرياح «العقدة» Kont ، وهى تساوى ٦٠٨٠,٢ قدم أو نحو ١,١٥ ميل فى الساعة. والميل الواحد فى الساعة يساوى ٠,٨٧ عقدة. وقد تستخدم أحياناً وحدات قياس أصغر من ذلك، مثل المتر أو القدم / الثانية وذلك فى الدراسات التفصيلية للرياح.

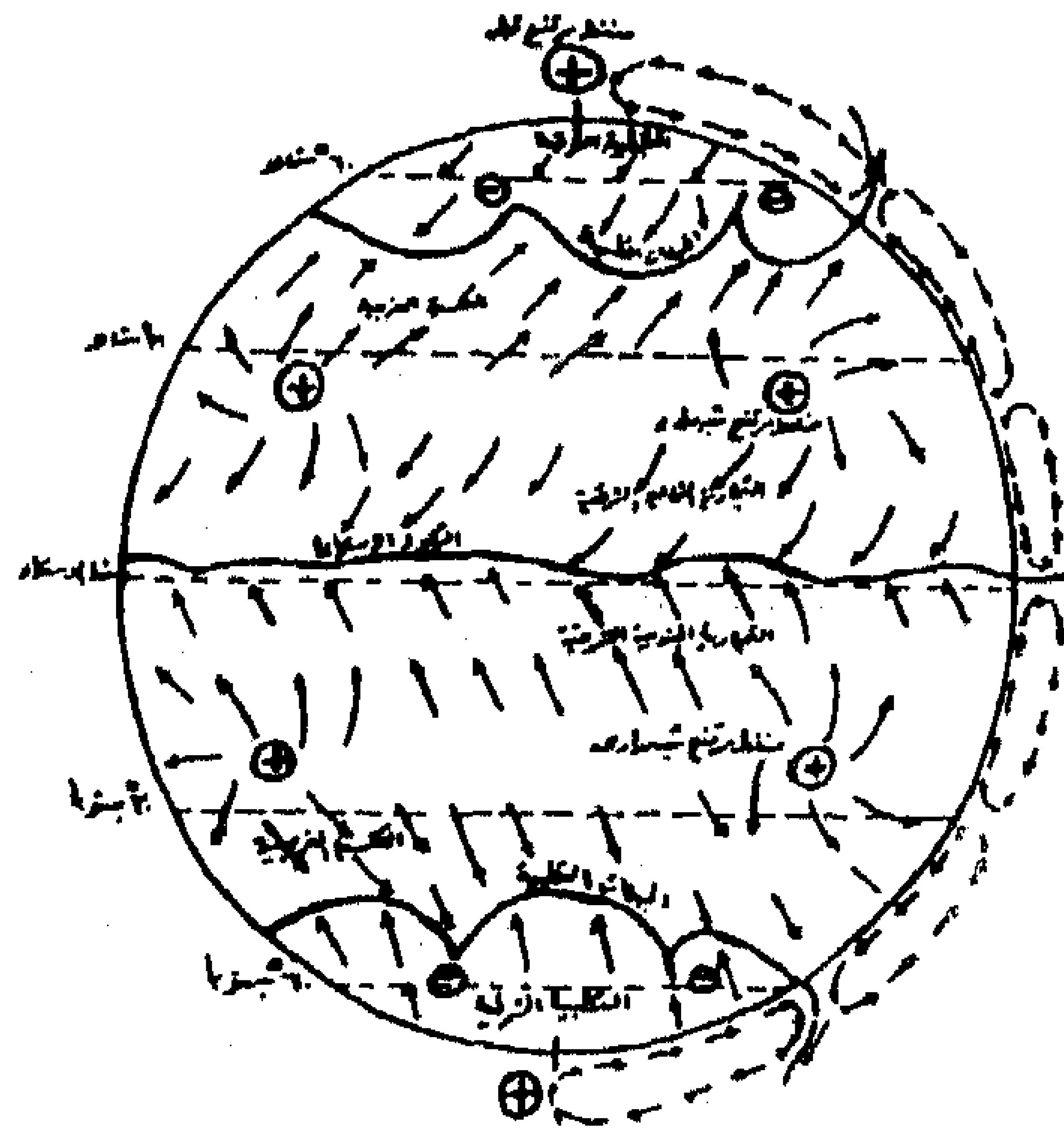
(٢) يمكن قياس سرعة الرياح بواسطة الأنيمومترات لغاية ٢٥٠ كم / ساعة أما إذا زادت السرعة عن ذلك - كما يحدث فى حالة الأعاصير - فقد تتحطم أجهزة الأنيمومترات. ومن درجة تحطم المنشآت المختلفة يمكن تقدير سرعة الرياح والضغط الناتج عنها، حيث يتناسب الضغط الذى تؤثر به الرياح على هذه المنشآت مع مربع سرعتها حسب المعادلة الآتية :

الضغط (كيلو جرام على المتر المربع) = ٠,٠٠٦ × مربع السرعة (بالكيلو مترات / ساعة)

فإذا كانت سرعة الرياح ١٢٢ كم / ساعة فإن الضغط الناتج عنها يكون مقداره ٨٩ كيلو جراماً على كل متر مربع. راجع محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦) ص١٩٨.

تيارات هوائية صاعدة. كما يحدث تبادل كتل هوائية بين مناطق ما بين المدارين وتلك التى تقع فيما ورائها وذلك خلال عمليات التوازن الحرارى للهواء الملامس لسطح الأرض (١) . وإذا أغفلنا أثر العوامل التى تشكل درجة حرارة الهواء ونسبة رطوبته وإتجاه الرياح فيمكن أن نوجز صورة عامة لدورة الرياح فوق سطح الكرة الأرضية وذلك بقصد إيضاح العلاقات المتبادلة بين كل من الحرارة والضغط والرياح (شكل ٧٢).

فتبعاً لإرتفاع حرارة الهواء طوال العام فى المناطق الإستوائية، يتجمع الهواء، ويصعد الى أعلى *Air Converges and rises*، ويخف وزن الهواء بالقرب من سطح الأرض، وتتكون مناطق من الضغط المنخفض الدائم طوال العام، وتعرف هذه المناطق بعدة مسميات منها «الرهو الإستوائى» *Doldrums* و «الإنخفاض الإستوائى» *Equatorial Low* و «الحوض الإستوائى» *Equatorial trough*، و «نطاق التيارات الصاعدة الإستوائية أو ما بين



(شكل ٧٢) الدورة العامة للرياح

(1) a - Kendrew, W. G., "The Climates of the continents", 5th edi, London (1961), p. 84.

b - Howard, J., Critchfield, "General Climatology", N.J., (1966), p.88-89.

المدارين، *Belt of equatorial or intertropical convergence* وعند صعود الهواء الى أعلى يتعرض للبرودة التدريجية خاصة فى الأجزاء العليا من طبقة التروبوسفير، وقد يتعرض لعمليات التكاثف وتسقط الأمطار التصاعدية فى المناطق الإستوائية خاصة فيما بعد الظهيرة وطول الليل. أما بقية الهواء العلوى فيزداد وزنه ويكمل دورانه فى الغلاف الجوى بنصفى الكرة الأرضية ويتعرض للهبوط عند دائرتى عرض ٣٠° شمالاً وجنوباً تقريباً. وتعرف هذه المناطق الأخيرة باسم عروض الخيل *The Horse Latitudes* ويتمثل عندها مناطق من الضغط المرتفع الشتوى تبعاً لهبوط الهواء من أعلى الى أسفل (١). وعند إقتراب الهواء الهابط من سطح الأرض عند هذه العروض يتشتت الهواء أفقياً، وتتكون الرياح التى تتجه بدورها نحو مراكز الضغط المنخفض. ويطلق على الرياح التى تتجه نحو مراكز الضغط المنخفض الإستوائى الدائم اسم «الرياح التجارية» وهى شمالية شرقية فى نصف الكرة الشمالى وجنوبية شرقية فى نصف الكرة الجنوبى. أما الرياح التى تتجه نحو مراكز الضغط المنخفض الفصلى فى العروض المعتدلة فتعرف باسم الرياح العكسية أو الغربية فى نصفى الكرة الأرضية (شكل ٧٣، وشكل ٧٤).

وتنحرف الرياح التجارية الجنوبية الشرقية - عند مرورها الدائرة الإستوائية - على يمين إتجاهها فى نصف الكرة الشمالى (قانون فرل، وبحسب قوة كوريولويس) وتصبح رياحاً تجارية جنوبية غربية وتختلط مسالكها هنا مع الرياح الموسمية. كما تنحرف الرياح التجارية الشمالية الشرقية - عند مرورها الدائرة الإستوائية - على يسار إتجاهها فى نصف الكرة الجنوبى وتصبح رياحاً تجارية شمالية غربية (٢).

---

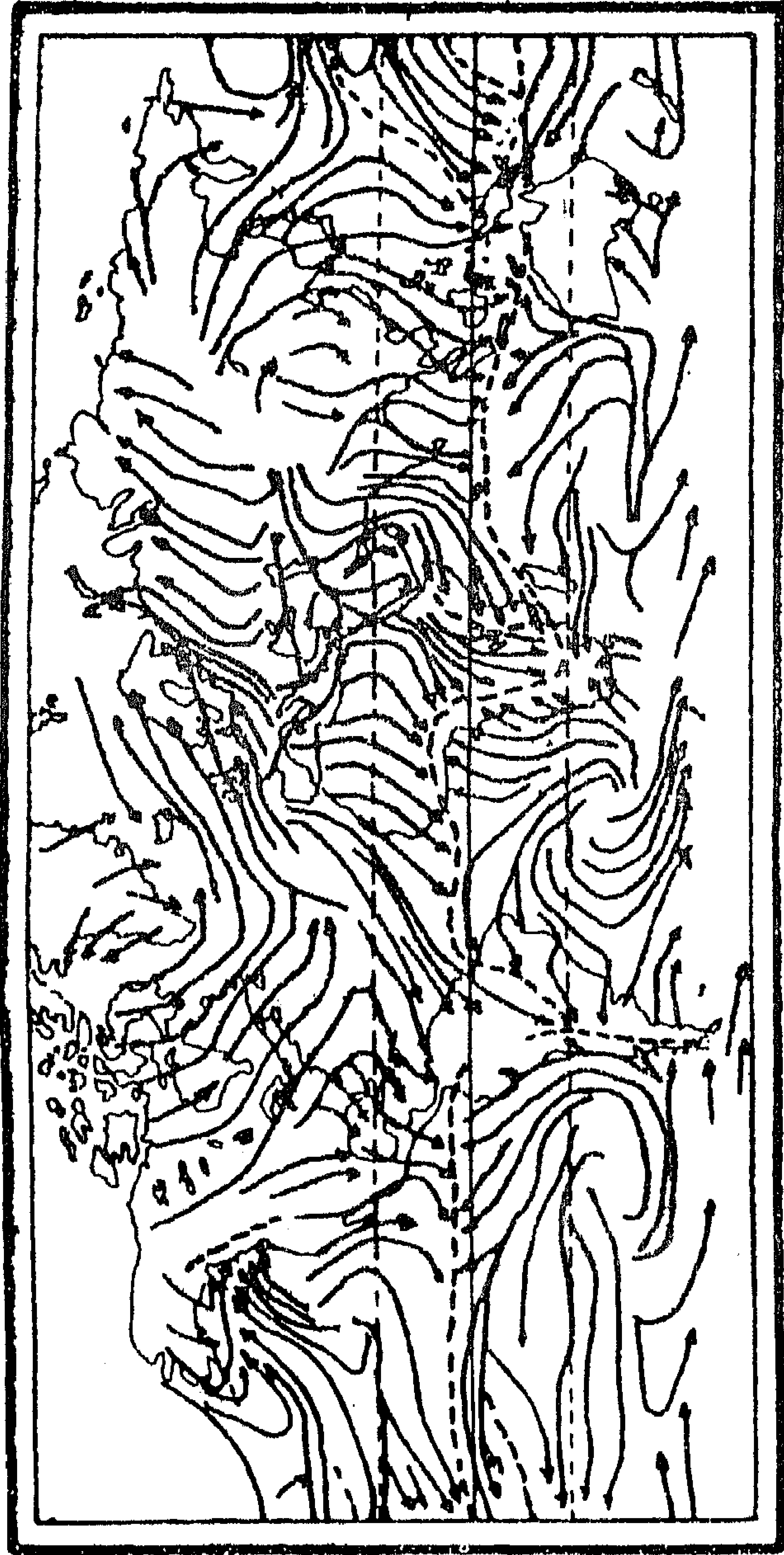
(1) Trewartha, G. T., "An introduction to climate", N. Y. (1954), p. 81.

(2) a - Byers, H. R., "General meteorlogy", Mc Graw-Hill, N. Y. 3rd edi. (1959), p. 263.

b - Hare, F. K., "The restless atmosphere", London, (1953).



(شكل ٣٣) الإتجاه العام للرياح على سطح الأرض خلال فصل الصيف (يوليو)



(شكل ٧٤) الإتجاه العام للرياح خلال فصل الشتاء الشمالي (يناير)

أما الرياح العكسية الغربية فى نصفى الكرة الأرضية، فتنساب على شكل مجموعات متجاورة من الإنخفاضات الجوية متجهة صوب الجبهات القطبية *Polar Fronts*. ويلاحظ أن الإتجاه الغربى السائد لهذه الرياح العكسية إما يعزى أيضاً الى أثر قوة كوريوليس. وتتلاقى كل من الرياح الغربية *Westerlies* والرياح القطبية الشرقية *Easterlies* (التى تتكون عند المناطق القطبية تبعاً لهبوط الهواء البارد من أعلى الى أسفل) عند مناطق الضغط المنخفض شبه القطبية *Subpolar lows or polar fronts* فيما بين دائرتى عرض ٤٥ْ – ٥٥ْ شمالاً وجنوباً تقريباً. ويلاحظ هنا وجود اختلافات كبيرة فى الخصائص الطبيعية لكل من الرياح الآتية من المناطق شبه المدارية، وتلك الآتية من المناطق القطبية، وينجم عن تقابل الهواء الساخن بالآخر البارد، تكوين الإنخفاضات الجوية *Depressions or Lows* التى تصاحب الرياح العسكية وتنساب معها من الغرب الى الشرق.

هذا وتجدر الإشارة الى أن هذه الدورة العامة للرياح تتزحزح شمالاً بمقدار ٥ – ١٠ درجات عرضية تبعاً لحركة الشمس الظاهرية وتعامدها على مدار السرطان خلال فصل الصيف الشمالى، وتتزحزح كل نطاقات هذه الرياح جنوباً بنفس المقدار السابق تبعاً لتعامد الشمس على مدار الجدى خلال فصل الصيف الجنوبى.

أنواع الرياح فوق سطح الأرض

الرياح الدائمة والرياح الموسمية والرياح المحلية

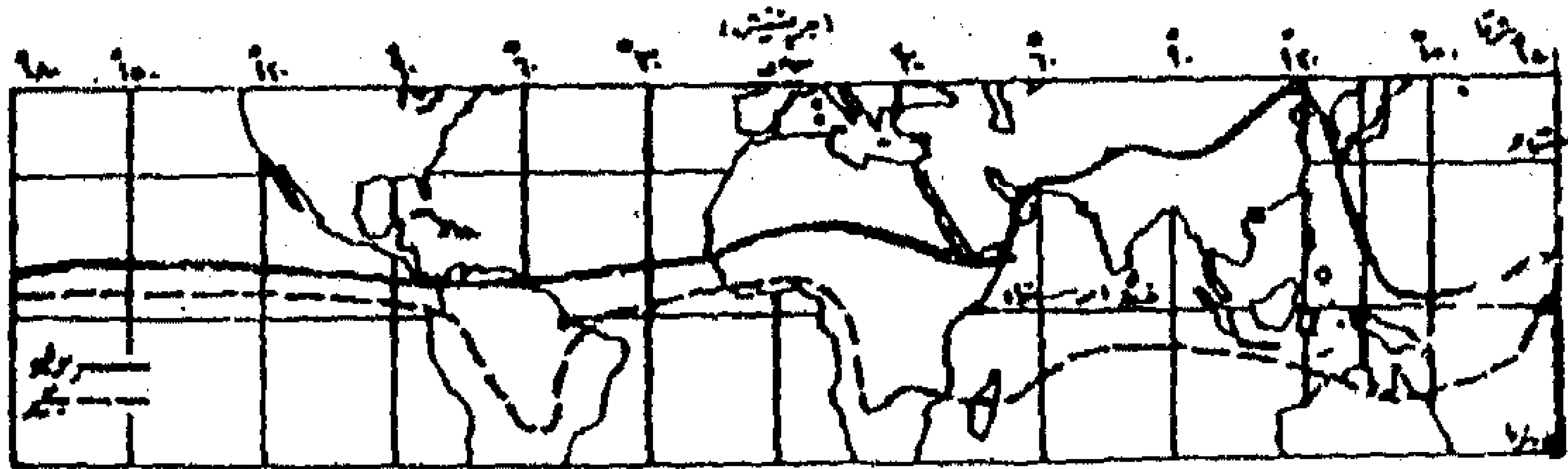
نتج عن حدوث عمليات التوازن الحرارى فى الغلاف الجوى وتنوع مقدار الضغط الجوى فيه من منطقة الى أخرى، تكوين نظام دائم من الرياح تتحرك بالقرب من سطح الأرض وتنتقل من مراكز الضغط المرتفع الى مراكز الضغط المنخفض، وتتمثل فى الرياح التجارية *The Trades* والرياح العكسية أو الغربية *The Westerlies* والرياح القطبية *The Polar Winds*. وحيث أن هبوب هذه الرياح جميعاً يعد هبوباً منتظماً (تبعاً لتأثر نظام هبوبها بالنطاقات الحرارية ومناطق الضغط الجوى المختلفة على مستوى العالم *Global*) خلال فترات السنة فتعرف هذه المجموعة من الرياح باسم «الرياح الدائمة». هذا الى جانب تكوين مجموعة أخرى من الرياح تعرف باسم «الرياح الموسمية». تبعاً لهبوبها خلال مواسم معينة من السنة وترتبط إتجاهاتها ونظام هبوبها بمدى تغير مراكز الضغط الجوى المختلفة من فصل الى آخر ومن مكان الى آخر على سطح الأرض. وهناك مجموعة ثالثة من الرياح تعرف باسم «الرياح المحلية» حيث إن تأثيرها يقتصر على مساحات محددة من سطح الأرض، كما أنها تهب خلال فترة زمنية وقتية قصيرة نسبياً وبصورة متقطعة. وترتبط نشأة هذه المجموعة الثالثة من الرياح كذلك بتنوع مراكز الضغط الجوى المحلى والتى تختلف خصائصها من وقت الى آخر بسبب ظروف نشأتها، وللرياح المحلية اسماء متعددة. وفيما يلى حديث موجز عن أنواع هذه الرياح وخصائصها العامة.

أولاً : الرياح الدائمة

(١) الرياح التجارية :

عرفت الرياح التجارية بهذا الاسم منذ العصور الوسطى، وقبل إختراع الآلة البخارية، حيث كانت السفن التى تعبر المحيطات سفناً شراعية وتعتمد على الرياح فى تسييرها. وقد كانت هذه السفن تصادف صعوبات شديدة عند عبورها المسطحات المائية الإستوائية (تبعاً لصعود الهواء) تعرقل من سيرها، ولكن بمجرد خروج السفن من نطاق دائرة الرهو الإستوائى، تتعرض للرياح وتساعدها الأخيرة على تحركها بسهولة. ومن ثم أطلق الملاحون على هذه الرياح اسم «الرياح التجارية» *The Trades*.

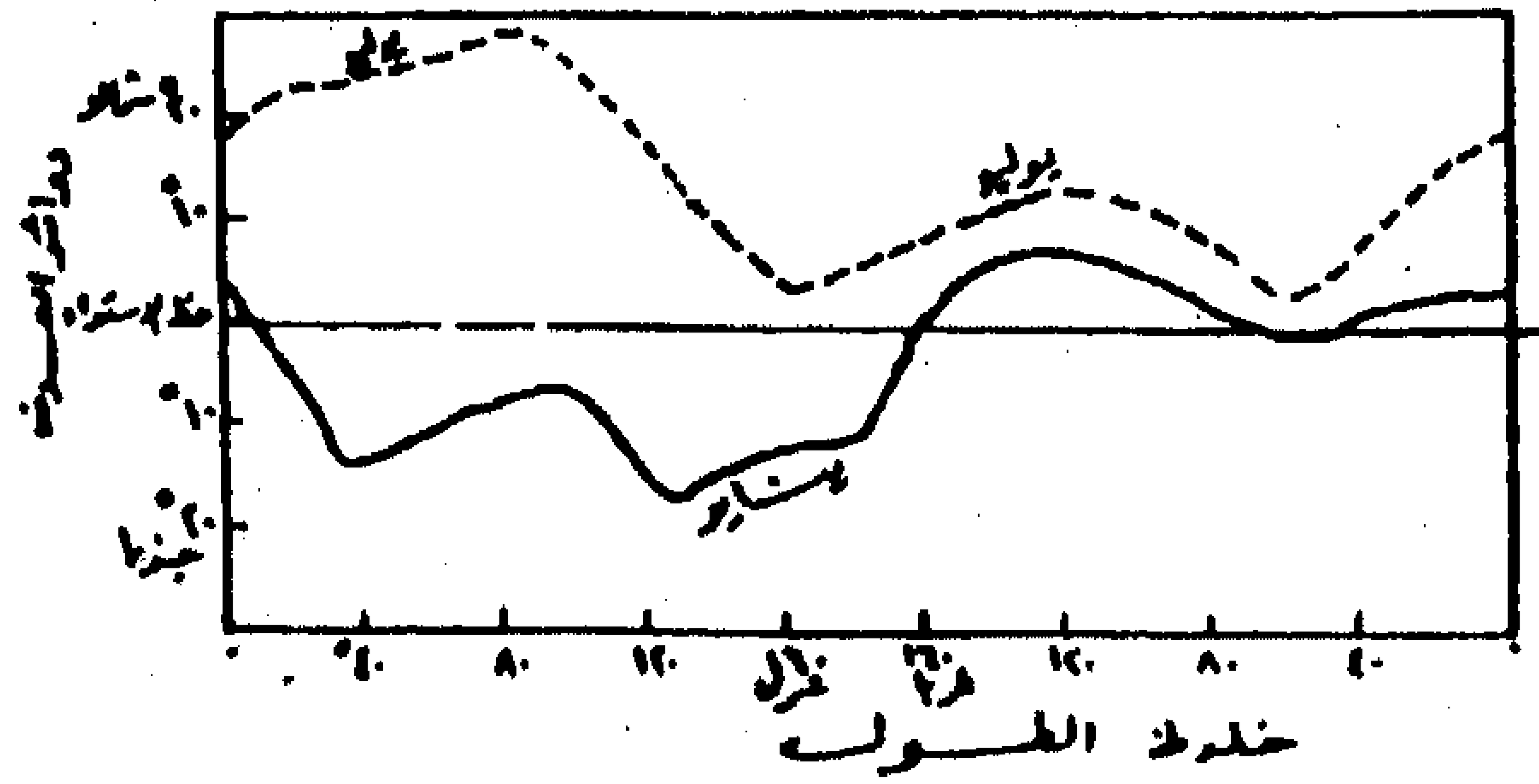
وتنساب الرياح التجارية من مناطق الضغط المرتفع فوق منطقة مدار السرطان فى نصف الكرة الشمالى وفوق منطقة مدار الجدى فى نصف الكرة الجنوبى وتتجه نحو منطقة الضغط المنخفض الإستوائى الدائم (منطقة الرهو الإستوائى) وتحل هذه الرياح محل الهواء الصاعد عند هذه المنطقة (شكل ٧٥).



(شكل ٧٥) مناطق التيارات الهوائية الصاعدة فيما بين المدارين وتزحزحهما شمالاً وجنوباً مع حركة الشمس الظاهرية

وتتزحزح أبعاد هذه المنطقة مع حركة الشمس الظاهرية فيما بين المدارين ومن ثم تؤثر فى حركة واتجاهات الرياح التجارية، وفى أى حالة من حالات تعامد الشمس على دوائر العرض المختلفة تبعاً لحركتها الظاهرية فإن معظم نطاقات منطقة الركود الإستوائى تقع الى الشمال من الدائرة الإستوائية نفسها (شكل ٧٦) وقد إعتقد بعض الباحثين بأن هذه المنطقة الأخيرة تشكل كل نطاق الدائرة الإستوائية وما يجاورها وأن نطاق الرهو الإستوائى فى هذه الحالة يعد نطاقاً متصل الأجزاء. ولكن أكدت نتائج الدراسات المتيورولوجية الحديثة بأن نطاق الرهو الإستوائى (حيث يصعد الهواء الى أعلى بإستمرار، وتتميز بتكوين السحب الركامية وسقوط الأمطار التصاعدية، وكثرة حدوث عواصف الرعد والبرق) لا يتمثل فوق كل النطاق الإستوائى فى العالم، كما تختلف خصائص نطاق الرهو الإستوائى - فى منطاق نشأته - من فصل الى آخر[1].

وعند عبور الرياح التجارية الجنوبية الشرقية الدائرة الإستوائية تنحرف على يمين إتجاهها فى نصف الكرة الشمالى وتصبح رياحاً تجارية جنوبية



(شكل ٧٦) قطاع يوضح تزحزح منطقة الركود الإستوائى ووقوع القسم الكبير منها الى الشمال من الدائرة الإستوائية

(1) Crowe, P. R., "Wind and Weather in the Equatorial Zone", Inst. Brit.-Geog. Trans. and Papers, vol. 71 (1951), p. 21-76.

غربية، أما الرياح التجارية الشمالية الشرقية فإنه عند عبورها هذه الدائرة تنحرف هي الأخرى على يسار اتجاهها في نصف الكرة الجنوبي وتصبح رياحاً تجارية شمالية غربية. وعلى ذلك يلاحظ أن الرياح التجارية الجنوبية الغربية (في نصف الكرة الشمالي) تختلط مسالكها مع الرياح الموسمية (التي يعظم تكوينها خلال فصل الصيف الشمالي بفعل التيارات الهوائية الصاعدة)، ويمتد نطاق هذه الرياح التجارية الغربية فيما بين نطاقي الهواء الصاعد الشمالي والجنوبي فيما بين المدارية *Northern and Southern Intertropical Convergeneces (N.I.T.C. and S.I.T.C.)*

وينجم عن تلاقي كل من الرياح التجارية المختلفة في نصفي الكرة الأرضية تكوين الأعاصير المدارية *Tropical cyclones* والهريكين *Hurricanes*، بل وأضداد الأعاصير كذلك *Anticyclones*، خاصة في القسم الغربي من المسطحات المائية المحيطية فيما بين المدارين (١). وعلى ذلك تختلف الخصائص الطبيعية العامة للرياح التجارية تبعاً لمناطق نشوء أضداد الأعاصير شبه المدارية *Subtropical anticyclones*. فعلى الجانب الشرقي من مناطق أضداد الأعاصير المدارية، تكون الرياح التجارية قليلة الرطوبة (حيث يكون الهواء هابطاً بشدة، ويكون الضغط الجوي مرتفعاً)، أما على الجانب الغربي لمناطق حدوث أضداد الأعاصير، فيكون الهواء الهابط محدود الأثر، ومن ثم قد تتكون الأعاصير، وتكون الرياح مرتفعة الرطوبة.

(٢) الرياح العكسية أو الغربية :

يتعرض الهواء العلوي الى الهبوط *Air subsidence* عند مناطق عروض الخيل، وتتمركز هنا مناطق الضغط المرتفع المداري. وعندما يقترب الهواء الهابط من سطح الأرض يتشتت *divrge*، وينساب على شكل رياح سطحية يتجه بعضها نحو مراكز الرهو الإستوائي وتعرف باسم الرياح التجارية أو

(1) Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate", N. Y. (1954), p. 77.

الشرقية، *The Easterlies*، فى حين ينساب بعضها الآخر فى إتجاه مضاد لهذه الرياح السابقة وتتجه نحو مراكز الضغط المنخفض شبه القطبى فى العروض المعتدلة الباردة فى نصفى الكرة الأرضية وتعرف باسم الرياح العكسية أو الغربية *The Westerlies*.

ويلاحظ أن حدود نطاق الضغط المنخفض شبه القطبى يختلف من مكان الى آخر، كما يختلف إمتداده من فصل الى آخر. ومن ثم يرسم هذا النطاق فوق خرائط الطقس على شكل أقواس منحنية. وتتميز الرياح الغربية بأنها ليست رياحاً شديدة عاصفة، كما أنها ليست خفيفة هادئة بل يغلب عليها الإعتدال فى سرعتها وفى قوتها معظم أوقات هبوبها. وتتراوح معدل درجات سرعتها بحسب مقياس بيوفرت من ٢٣ الى ٧ أى تتراوح سرعتها من نوع الرياح الهادئة *Gentle breeze* الى نوع الرياح العالية *Moderate gales*. ولكن يصاحب هذه الرياح بين الحين والآخر، الإنخفاضات الجوية *Depressions* وهذه الأخيرة تكون سبباً فى نشوء الرياح الهوجائية الشديدة *Strong gales* والعواصف المدمرة *Storms* (تتراوح سرعة الرياح هنا من ٩ - ١١ بحسب مقياس بيوفورت). وتقل نسبة الهدوء فى هذه الرياح، بخلاف الحال فى الرياح التجارية التى قد يظل الهواء فيها هادئاً لفترات وقتية طويلة. وعلى ذلك تبدو نسبة الهدوء الممثلة فى وردات الرياح العكسية (الغربية) محدودة جداً، وقد لا تتعدى هذه النسبة ٥٪ بالنسبة للرياح العكسية فوق أجزاء متفرقة من حوض البحر المتوسط. ويرجع ذلك الى أن كلاً من الجبهات والعواصف *Fronts and Storms* (أو بمعنى آخر الأعاصير *Cyclones* وأضدادها *Anti-cyclones* تهب من الغرب الى الشرق مع نفس مسالك الرياح العكسية أو الغربية [1].

وفى نصف الكرة الجنوبى خاصة فيما بين دائرتى عرض ٤٠° - ٦٥°

(1) Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate" N. Y (1954) p. 83-84.

جنوباً يكاد يختفى اليابس ويزداد إتساع المسطحات المائية. ومن ثم يمكن ملاحظة تأثير الرياح الغربية على كل من التغيرات الطقسية وعلى حالة البحر عند هذه العروض. وقد تبين أن الرياح الغربية فوق المسطحات المائية عند هذه العروض فى نصف الكرة الجنوبى تتميز بشدتها وسرعتها سواء أكان ذلك خلال فصل الصيف أو فصل الشتاء. وعند نطاق دائرة عرض ٤٠° جنوباً يطلق الملاحون على الرياح الغربية هنا اسم «الأربعينات المزمجرة» *Roaring Forties* وعند دائرة عرض ٥٠° جنوباً تعرف باسم «الخمسينات الثائرة» *Furious Fifties* وعند دائرة عرض ٦٠° جنوباً تعرف باسم «الستينات الصارخة» (١) *Shrieking sixties* وبالقرب من رأس هورن *Cape Horn* عند الطرف الجنوبى لقارة أمريكا الجنوبية (دائرة عرض ٥٥° جنوبا) تجعل هذه الرياح الغربية العنيفة محاولة الملاحة البحرية حول الرأس البحرى الجنوبى لقارة أمريكا الجنوبية أمراً خطيراً بل تكاد تكون شبه مستحيلة فى بعض الأحيان(٢) . فيتمثل عند هذا الموقع الأخير مراكز نشوء الهوجاء الشديدة التى تتخذ مسالكها الإتجاه الشرقى مع الرياح الغربية ويتوالى حدوث الواحدة منها بعد الأخرى، ولا يفصل بين كل هوجاء وأخرى سوى فترة وقتية قصيرة تهب فيها الرياح المعتدلة *lulls*. ويسود فى هذه المنطقة الطقس البارد غير المستقر *Chilly Weather* وتظهر السماء ملبدة بالغيوم *Cloudy Skies* ، ويزداد إرتفاع أمواج البحر خاصة حول جزر لوس استادوس *Los Estados* وتبدو هذه الأمواج وكأنها جبال بحرية *Mountainous Seas*.

أما الرياح الغربية فى نصف الكرة الشمالى، فتتأثر خصائصها هنا تبعاً لتنوع التوزيع الجغرافى بين اليابس والماء وتبعاً للاتساع النسبى لليابس فى هذا القسم أكثر منه فى نصف الكرة الجنوبى. ومن ثم يبدو نظام الرياح

---

(١) أ - المرجع السابق، ص ٨٣.

ب - د. على على البنا «الجغرافية المناخية والنباتية» بيروت (١٩٦٨).

(2) Howard, J. T., :An Introduction to Climate", N. Y. (1954), p.84.

الغربية فى نصف الكرة الشمالى أكثر تعقيداً منه فى نصف الكرة الجنوبى كما أن الرياح الغربية تعد أقل قسوة وضراوة فى فصل الصيف عنها فى فصل الشتاء.

ويتبين من بيانات الرصد الجوى للرياح الغربية فى نصف الكرة الشمالى خلال فصل الصيف، بأن هذه الرياح تهب على شكل نسيم معتدل وعليل *Fresh breeze*، وإنها تهب من عدة إتجاهات مختلفة، وتكاد تتساوى نسب هذه الإتجاهات على وردات الرياح الصيفية. أما فى فصل الشتاء، فتشبه الرياح الغربية هنا مثيلتها فى نصف الكرة الجنوبى، وتهب فى كثير من الأوقات على شكل رياح هوجاء عنيفة *Strong and biosterous* ويغلب على مسالكها الإتجاه الغربى. وتتجه هذه الرياح بشدة صوب مراكز الضغط المنخفض شبه القطبية الباردة *Cold subpolar troughs*. ولما كانت هذه المناطق الأخيرة تعد مناطق إلتقاء الكتل الهوائية الباردة الآتية من الشمال مع الكتل الهوائية الدفيئة نسبياً الآتية من الجنوب، فإنه يتكون هنا خط من الجبهات متعرج ومقوس الشكل ويكثر عنده حدوث الأعاصير وأضدادها. ويؤكد الأستاذ تريوارثا (١) *Trewartha* بأن هذا النطاق الأخير يتميز بالطقس المتنوع *Variable Weather*، والعواصف الشديدة *Strong* وذلك بصورة أشد من تلك التى تتمثل عند مناطق إلتقاء الرياح التجارية المختلفة (الشمالية الشرقية مع الجنوبية الغربية فى نصف الكرة الشمالى) فى العروض المدارية.

(٣) الرياح القطبية :

يقل عدد محطات الرصد الجوى فى المناطق القطبية، عنها بالنسبة لأى مناطق أخرى من العالم. وعلى ذلك فإن المعلومات المتيورولوجية الخاصة بدورة الرياح القطبية السطحية *Surface Circulation* لا تزال فى حاجة الى المزيد من التفاصيل حتى الوقت الحاضر. وإذا كان بعض الباحثين يؤكد بأن

---

(1) Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate", N. Y. (1954), p. 85.

الاتجاه العام لهذه الرياح القطبية هو الاتجاه الشرقى، وعرفت الرياح باسم الرياح القطبية الشرقية *Polar Easterlies* فإن بعضهم الآخر يشكك فى صحة هذا الإتجاه الشرقى السائد لهذه الرياح. وفوق خرائط مكتب الطقس الأمريكى *U.S Weather Breau* يتضح أن الاتجاه السائد للرياح القطبية فيما بين دائرة عرض ٦٥° شمالاً وحتى القطب الشمالى، هو الإتجاه الشرقى. فى حين نلاحظ أن الإتجاه السائد لهذه الرياح عند نفس دوائر العرض فوق خرائط الطقس الروسية، هو الإتجاه الغربى.

وعلى أى حال، فإن الرياح القطبية تتجه من مراكز الضغط الجوى المرتفع عند القطبين (الشمالى والجنوبى فى نصفى الكرة الأرضية) تبعاً لهبوط الهواء البارد عند هذه المناطق، الى مراكز الضغط المنخفض عند العروض المعتدلة الباردة ونحو مراكز تكوين الجبهات شبه القطبية فى نصفى الكرة الأرضية. ونظراً لقلة إتساع اليابس فى نصف الكرة الجنوبى، عند هذه العروض، فمن النادر وجود محطات للرصد الجوى للرياح القطبية، ومع ذلك اهتمت الدول بإقامة مثل هذه المراصد فوق بعض أجزاء من القارة القطبية الجنوبية، وكذلك عند الطرف الجنوبى لقارة أمريكا الجنوبية، وبالجزيرة الجنوبية من نيوزيلند. وتظهر مؤثرات الرياح القطبية فى مناخ شمال أوراسيا وشمال أمريكا الشمالية وجزيرة جرينلند.

ثانياً : الرياح الموسمية

يدل تعبير «رياح موسمية» *Monsoons* بمعناه العام على أى نوع من الرياح تهب فوق أى منطقة من سطح الأرض خلال مواسم معينة من مواسم السنة أما تعبير «رياح موسمية» بمعناه الخاص، فقد حدده الأستاذ ماثيوفونتين مورى [١] *Maury, M. F., (1855, p. 474)* بأنه يدل على الرياح التى تهب فى إتجاه محدد خلال النصف الأول من العام ثم تهب فى إتجاه مضاد لهذا الإتجاه السابق خلال النصف الثانى من العام نفسه. وقد استخدم الكتاب تعبير «الرياح الموسمية» ليدل بوجه خاص على الرياح الشمالية الشرقية التى تهب على البحر العربى خلال الفترة من أكتوبر الى أبريل، وعلى الرياح الجنوبية الغربية التى تهب عليه خلال الفترة من أبريل الى أكتوبر.

وجرى العرف على أن تعبير «رياح موسمية» ينبغى أن يدل على هبوب رياح معينة فى مواسم معينة من السنة ذات إتجاهات مضادة أى يختلف إتجاه الرياح من فصل الى آخر، وإن السبب الرئيسى فى نشأة هذه الرياح لابد أن يرجع الى الإختلافات الحرارية الفصلية بين كل من حرارة الهواء الملامس لليابس وذلك الملامس للمسطحات المائية المجاورة [٢] . *"Seasonal*

(1) Maury, M. F., "The Physical Geography of the sea", London (1855) p. 474.

هذا وان تعبير "Monsoon" المستخدم فى اللغة الانجليزية اليوم مستمد من الكلمة العربية «موسم» Mausim.

(2) a - Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate". N. Y. (1954), p. 94.

ب - أوضح الأستاذ «دادلى ستامب» بأن السبب الرئيسى فى نشأة الرياح الموسمية هو الإختلافات الحرارية بين هواء كل من اليابس والمسطحات المائية المجاورة خلال فصول السنة.

(Periodic changes of temperature in surrounding land and water surfaces) Stamp, D. L., "A glossary of geographical terms", Longmans London (1961), p. 323.

differential heating of extensive land and water surfaces"

فخلال فصل الصيف (الصيف الشمالى، والصيف الجنوبى) ترتفع حرارة الهواء الملامس لسطح اليابس المتسع فى العروض المدارية بدرجة أكبر منه فوق المسطحات المائية المجاورة، وعلى ذلك يصعد هواء اليابس الساخن الى أعلى وتتكون مناطق عميقة من الضغط المنخفض الفصلى تتجه إليها رياح «موسمية» آتية من فوق المسطحات المائية والتى يتمركز فوقها مناطق من الضغط المرتفع النسبى. وتبعاً لإرتفاع نسبة الرطوبة فى الرياح الموسمية (التى تهب من المسطحات المائية نحو اليابس) تسقط أمطار موسمية غزيرة[1].

أما خلال فصل الشتاء (الشتاء الشمالى، والشتاء الجنوبى) فيحدث عكس هذه الحالة فى نظام هبوب الرياح، حيث يبرد الهواء الملامس لسطح اليابس المتسع بدرجة أكبر من الهواء الممثل فوق المسطحات المائية المجاورة. وعلى ذلك يهبط الهواء من أعلى الى أسفل فوق أسطح اليابس، وتتكون مناطق واسعة من الضغط المرتفع الفصلى، تخرج منها الرياح «الموسمية» الجافة متجهة الى المسطحات المائية المجاورة والى يتمركز فوقها مناطق من الضغط المنخفض النسبى. وهكذا تتعرض كل من المسطحات المائية واليابس المجاور لنظام فصلى للرياح «رياح موسمية» تهب فى إتجاهات مضادة من فصل الى آخر. وتعزى نشأة هذه الرياح أساساً الى تأثير الهواء الصاعد والهواء الهابط بسبب الإختلافات الحرارية الفصلية بين كل من الهواء الملامس لسطح اليابس والهواء الملامس للمسطحات المائية فى العروض المدارية.

وعلى ذلك فإن الرياح الموسمية تختلف عن الرياح التجارية وإن كانت تهب معها فى نفس نطاقات هبوبها، بل قد تتخذ كلها نفس الإتجاه. ففى فصل الشتاء الشمالى تخرج الرياح التجارية الشمالية الشرقية من مناطق

---

(1) a -- Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate", N. Y. (1954), p. 94.
b - Gresswell, R. K., "Physical geography", Longman (1972) p. 59.

الضغط المرتفع النسبى فوق المسطحات المائية بجنوب شرقى آسيا (رياح ضعيفة خلال هذا الفصل) وتتجه صوب مناطق الضغط المنخفض الإستوائى الدائم وتتقابل مع الرياح التجارية الجنوبية الغربية (بعد إنحراف هذه الرياح الأخيرة عند عبورها الدائرة الإستوائية). وفى نفس الوقت تهب هذه الرياح الموسمية الشمالية الغربية الآتية من أواسط آسيا حيث مراكز الضغط المرتفع الشتوى، وتتجه هذه الرياح نحو المسطحات المائية المجاورة ذات الضغط المنخفض النسبى. وتبعاً لوقوع مناطق الضغط المنخفض المحلى، تغير الرياح الموسمية من إتجاهاتها، وقد تصبح شمالية شرقية (فوق ساحل الغات الشرقية) كمثل إتجاه الرياح التجارية خلال هذا الفصل. أما فى فصل الصيف الشمالى فتتخذ الرياح الموسمية التى تهب على جنوب شرقى آسيا نفس إتجاه الرياح التجارية (بعد إنحرافها عند عبورها الدائرة الإستوائية) وهو الإتجاه الجنوبى الغربى، وتعد الرياح الموسمية الصيفية الجنوبية الغربية فوق جنوب آسيا رياحاً قوية تكونت تبعاً لإنخفاض الهواء الملامس للمسطحات المائية عن الهواء الملامس لليابس المجاور، وانتقال الرياح من مراكز الضغط المرتفع فوق المسطحات المائية الى مراكز الضغط المنخفض الفصلى التى تتكون فوق اليابس المجاور.

ثالثاً : الرياح المحلية

تعد هذه المجموعة من الرياح، ذات تأثير محلي بمعنى أنها تهب فوق مناطق محددة الإتساع من سطح الأرض وخلال أوقات زمنية قصيرة ولها أسماء محلية متعددة وغالباً ما تتوقف نشأتها على مسالك الانخفاضات الجوية التى تمر بمناطق سطح الأرض، ويختلف تأثير الرياح المحلية فى طقس المناطق التى تنشأ فيها تبعاً لخصائصها العامة فبعض هذه الرياح المحلية *Local winds* تكون دفيئة خاصة إذا كانت مسالكها تأتى فى مقدمة الانخفاضات الجوية أو تعرضت للهبوط على السفوح الجبلية (التسخين الذاتى *A diabatic heating*)، وقد يكون بعضها الآخر رياحاً محلية باردة خاصة إذا كانت مسالكها تتمثل عند مؤخرة الانخفاضات الجوية [(١)] وقد ينشأ بعضها الآخر نتيجة للظروف التضاريسية المحلية وإختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء. وفيما يلى عرض موجز لمجموعات الرياح المحلية وبعض أنواعها الرئيسية فى مناطق مختلفة من العالم.

(١) الرياح المحلية التى تنتشر بفعل تنوع الأشكال التضاريسية والموقع الجغرافى (التوزيع الجغرافى لليابس والماء) :

أ – نسيم البر ونسيم البحر *Land and Sea breeze* :

يحدث نسيم البر ونسيم البحر تبعاً للإختلافات الحرارية اليومية بين كل من اليابس والمسطحات المائية المجاورة له. ففى المناطق الساحلية أثناء النهار يسخن الهواء الملامس لسطح الأرض وتصبح حرارته أعلى من حرارة الهواء الملامس للمسطحات المائية المجاورة له، ومن ثم يصعد هواء اليابس الساخن

---

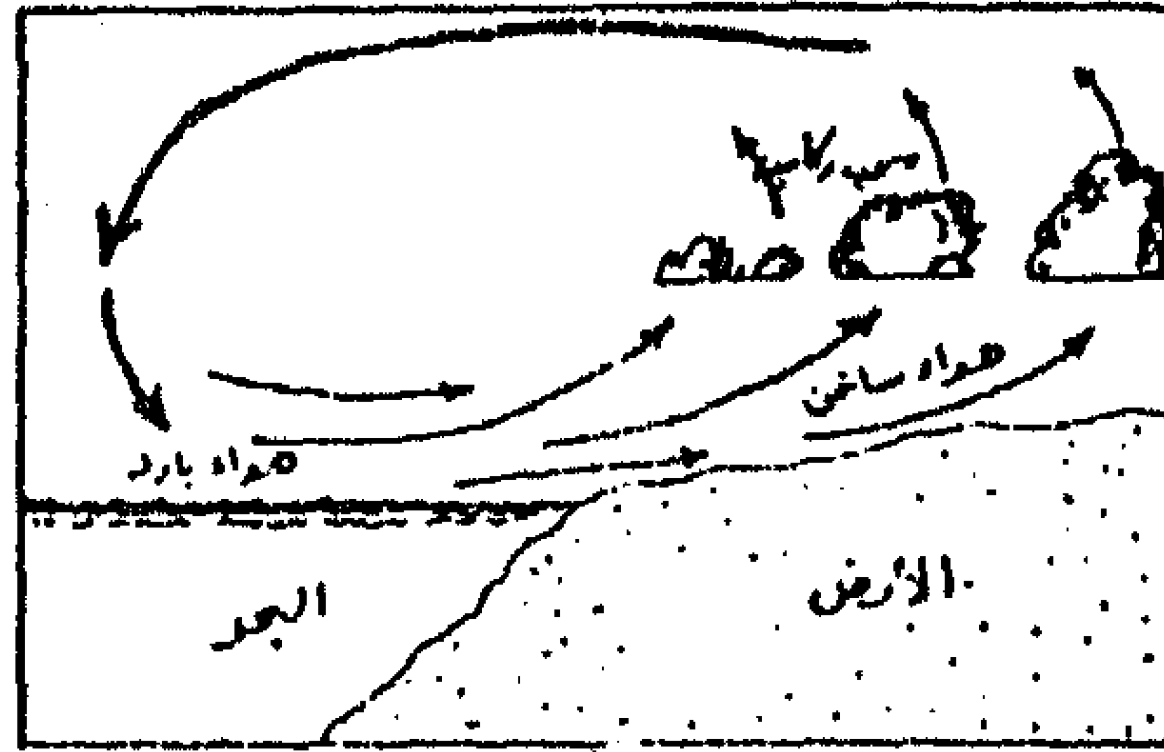
(١) محمود حامد محمد ،المتيورولوجية، القاهرة (١٩٤٦) ص ١٧٢ .

الى أعلى ويحل محله هواء بحرى أقل منه حرارة، فيلطف هذا الهواء الأخير من درجة حرارة هواء اليابس أثناء النهار وهذا هو ما يعرف بنسيم البحر (١). *Day-time sea breeze*.

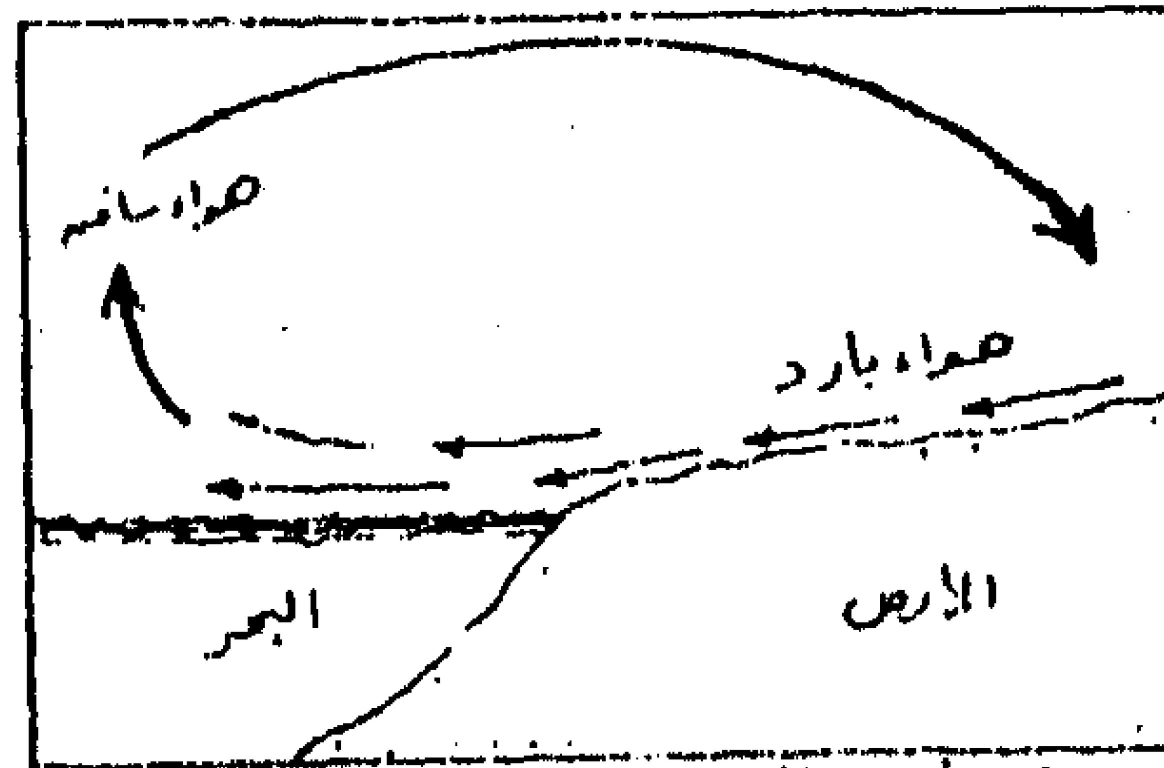
أما أثناء الليل فيسخن الهواء الملامس لسطح الماء بدرجة أعلى من ذلك الهواء فوق اليابس (تبعاً لإنخفاض درجة حرارة هواء اليابس بفعل الإشعاع) ويصعد هذا الهواء الى أعلى ويحل محله هواء قارى يتجه من اليابس الى المسطحات المائية المجاورة، ويكون هذا الهواء أبرد من الهواء البحرى الصاعد. وهذا هو ما يعرف باسم نسيم البر *Night-time land breeze*. (شكل ٧٧ أ، ب).

ب - نسيم الجبل ونسيم الوادى *Mountains and valley breezes* :

نتيجة للإختلافات التضاريسية المحلية عند بعض أجزاء سطح الأرض



(أ) نسيم البحر نهاراً



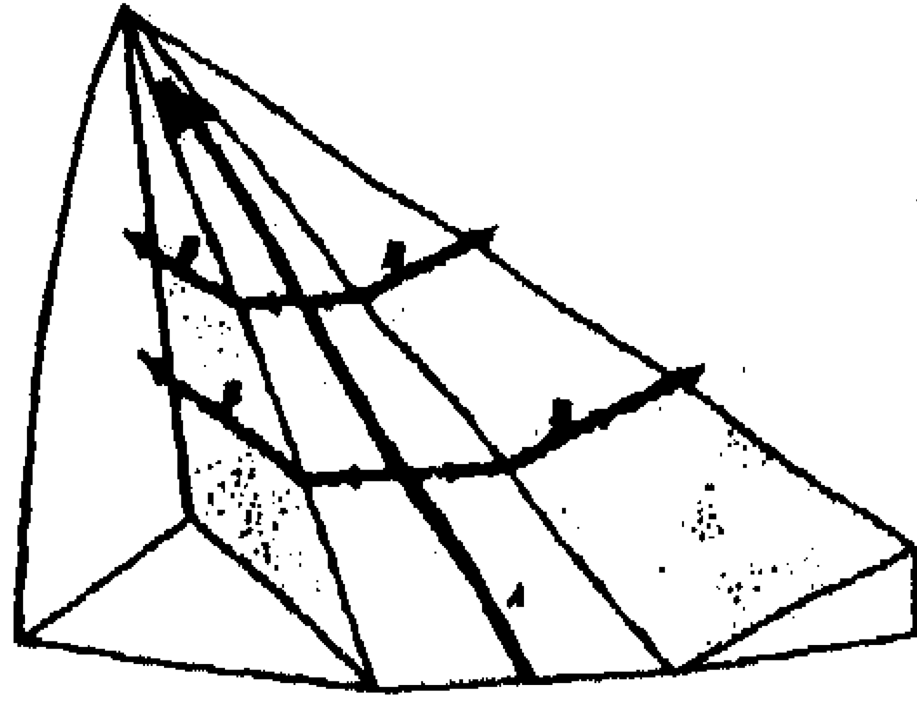
(ب) نسيم البر ليلاً

(شكل ٧٧) نسيم البحر ونسيم البر

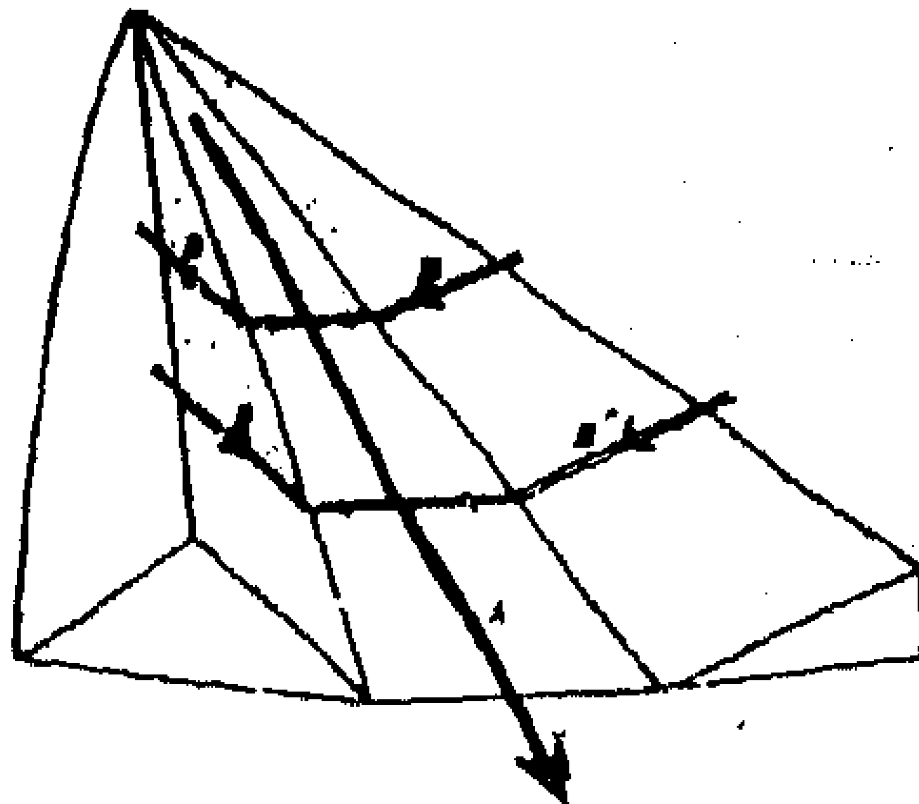
(1) Trewartha, G. T., "An Introduction to climate", N. Y. (1954), p. 100-110.

تختلف درجة حرارة الهواء الممثل فوق المناطق الجبلية المرتفعة عن حرارة الهواء فوق المناطق السهلية وفى بطون الأودية المجاورة لها. ففى أثناء النهار، ترتفع درجة حرارة هواء بطون الأودية المنخفضة المنسوب عن درجة حرارة الهواء عند القمم الجبلية المجاورة، وعلى ذلك تقل كثافة هواء بطون الأودية ويصعد الهواء الساخن نهاراً ويتجه من بطون الأودية الى أعالى القمم الجبلية. وقد تتشعب منه شعب ثانوية تصعد هى الأخرى الى جوانب الأودية، ويطلق على هذا الهواء الصاعد الدفىء اسم نسيم الوادى، ويساعد هذا الهواء على سرعة نمو الأشجار المثمرة والنباتات المختلفة.

أما أثناء الليل فيكون الهواء الملامس لأسطح القمم الجبلية أشد برودة من الهواء المتجمع فى بطون الأودية، وعلى ذلك ترتفع كثافته ويزداد ثقله، وينزلق الهواء الى أسفل نحو قاع الوادى، ليحل محل الهواء الدفىء، وينزلق الهواء البارد أسفل الهواء الساخن عند قاع الوادى، وتعرف هذه العملية باسم نسيم الجبل. (شكل ٧٨ أ، ب) . ويؤثر هذا الهواء الجبلى الهابط البارد فى تأخر نمو المحاصيل المنزرعة، وعلى ذلك يفضل الزراع زراعة الأشجار المثمرة على جوانب الأودية الجبلية وليس فوق أراضيها.



(شكل٧٨)
(أ) نسيم الوادى



(ب) نسيم الجبل

(٢) الرياح المحلية الحارة التى تهب نحو مقدمات الانخفاضات الجوية :

تنشأ هذه المجموعة من الرياح المحلية الحارة نتيجة لإختلاف نظم الضغط الجوى المحلى ومرور الانخفاضات الجوية بمناطق نشأتها حيث تنساب هذه الرياح المحلية صوب الجبهة أو المقدمة الدفيئة للانخفاض الجوى ومن بين هذه المجموعة من الرياح :

أ - الخماسين :

رياح محلية جنوبية حارة مترية، تهب من الصحراء الغربية وتتجه شمالاً نحو القسم الشمالى من مصر حيث تنساب هذه الرياح نحو مراكز ومقدمات الضغط الجوى المنخفض الممثل شمال مصر والذى يمر هو الآخر من الغرب الى الشرق، خلال فصل الربيع. ولا يقتصر مجال تأثير رياح الخماسين الحارة المترية على الأراضى المصرية فقط، بل قد تعبر البحر المتوسط الشرقى، وتصل مؤثراتها الى الساحل الشرقى لهذا البحر وخاصة سواحل لبنان، وقد تتأثر بها جزيرة قبرص وبعض أجزاء من شرق أوربا كما حدث لعاصفة الخماسين الترابية فى أبريل عام ١٩٢٨ (١) .

وقد سميت هذه الرياح بهذا الاسم تبعاً لإجمالى عدد أيام حدوثها (خلال فترات هبوبها المختلفة فى مصر) والتى تبلغ نحو ٥٠ يوماً فى السنة. وتهب هذه الرياح المحلية بصورة متقطعة خلال الفترة من فبراير الى يونيو ويتراوح طول فترة هبوب كل عاصفة منها من يومين الى أربعة أيام. وعند حدوث الخماسين ترتفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض وينتشر الغبار الدقيق الحـ ـجم، والأتربة الصحراوية الناعمة فى الجو، مما قد يؤدى الى صعوبة الرؤية وتعذرها أحياناً وإختناق الجو. ويؤثر ذلك على الحالة النفسية والصحية للسكان وعلى مدى إقبالهم على العمل وقد تغلق المطارات، وتتوقف

(١) محمود حامد محمد ،المتيورولوجية، القاهرة (١٩٤٦) ص ٣٢٩.

حركة السير فوق الطرقات. وبسبب الخماسين تنتشر بين الناس أمراض العيون (خاصة الرمد الربيعى) كما تزداد أمراض حساسية الأنف والبلعوم والحنجرة كما تعمل الظروف الطقسية الخماسينية على إنتشار أنواع الأكزيما الجلدية الوراثية التى تتأثر بالأتربة والرمال وزيادة التلوث فى الجو. ونتيجة لجفاف الهواء الخماسينى وسرعة الرياح تحدث كثير من الحرائق بالقرى المصرية (١).

ب - السموم :

تحدث هذه الرياح الحارة المتربة خلال فصل الربيع عندما تمر الإنخفاضات الجوية صوب الشرق البحر المتوسط متجهة نحو إقليم الشام. وعلى ذلك فهى تسبه رياح الخماسين من حيث النشأة إلا أنها أقل منها شدة تبعاً لضحولة الإنخفاضات الجوية التى تصل منطقة صحراء الشام. وتهب هذه الرياح المحلية نحو المقدمة الدفيئة للانخفاضات الجوية، وتأتى من صحارى شبه الجزيرة العربية، وتؤثر فى منطقة النصف الشمالى منها، وفى أراضى فلسطين المحتلة وسوريا والمملكة الأردنية الهاشمية. وينجم عن السموم ارتفاع درجة حرارة الهواء أثناء فترة هبوبها، وإنتشار الأتربة والرمال الدقيقة الحجم، وتعذر الرؤية. وعند نهاية فصل الربيع قد تصل مؤثرات السموم الى مناطق سواحل شرق البحر المتوسط، ومن نفس مناطق نشوء رياح السموم ومن نطاق الربع الخالى فى المملكة العربية السعودية تخرج رياح محلية

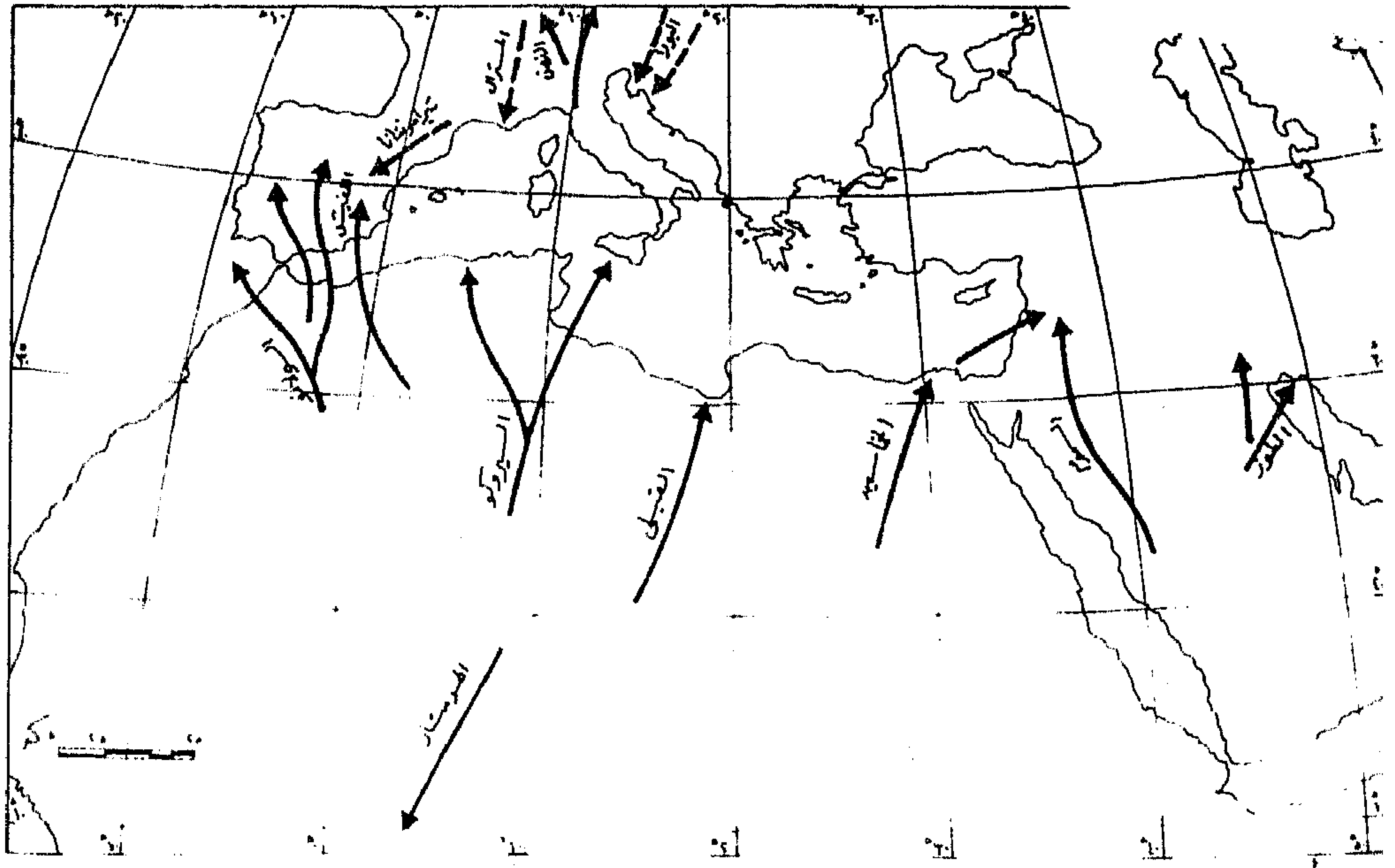
---

(١) تساهم الخماسين أحياناً وكذلك الإنخفاضات الجوية التى تمر من الغرب الى الشرق فى البحر المتوسط شمال الأراضى المصرية فى هياج البحر وتكوين الأمواج العالية وحدوث ما يعرف باسم النوات. ومن أهم هذه النوات التى يعرفها الصيادون فى منطقة الاسكندرية تلك التى تعرف باسم المكنسة (من ٢٦ الى ٣٠ نوفمبر) والفيضة الصغيرة (٢٠ - ٢٢ ديسمبر) والفيضة الكبيرة (١٩ - ٢٤ يناير) والشمس الصغيرة (١٨ - ٢٤ فبراير) والحسوم (١٠ - ١٧ مارس) والشمس الكبيرة (٢٠ - ٢٢ مارس) والعوا (من ٢٥ - ٣٠ مارس) والخماسين (من ٢٩ أبريل الى ٥ مايو). وبإنتهاء حدوث هذه النوات يتوقف مرور الانخفاضات الجوية الشتوية والربيعية فى شمال مصر.

حارة مترية أخرى تهب فوق القسم الأوسط من منطقة الخليج العربى وتعرف باسم «الغبار» والشميلى والغربى وفوق أراضى دولة الكويت تعرف باسم رياح الطوز.

جـ - القبلى :

وهى رياح محلية حارة تهب أيضاً نحو مقدمة الانخفاضات الجوية التى تعبر البحر المتوسط من الغرب الى الشرق خلال فصلى الشتاء والربيع. وتشبه القبلى فى نشأتها رياح الخماسين التى تهب على الأراضى المصرية ورياح السموم التى تهب على أراضى شمال الجزيرة العربية وإقليم الشام. والقبلى رياح - كما يتضح من إسمها - جنوبية تأتى من الصحراء الكبرى محملة بالرمال الدقيقة الناعمة ويتركز نطاق هبوبها على السواحل الشمالية للجماهيرية الليبية تبعاً لمرور الإنخفاضات الجوية من الغرب الى الشرق خلال فصل الربيع (شكل ٧٩).



(شكل ٧٩) الرياح المحلية فى حوض البحر المتوسط والمناطق المجاورة له

د – السيروكو *Sirocco* :

تحدث هذه الرياح المحلية الحارة الجافة المتربة عند مرور مراكز الضغط الجوى المنخفض بالحوض الغربى من البحر المتوسط، فينتج عن ذلك هبوب السيروكو من أواسط الصحراء الكبرى وتتجه نحو المقدمات الدفيئة للانخفضات الجوية. وتؤدى السيروكو الى إرتفاع درجة حرارة الهواء (قد تصل الى ٤٠° م) وتتميز بحمولتها الكبيرة جداً من الرمال الدقيقة الناعمة، وتهب هذه الرياح المحلية على السواحل الشمالية الغربية لأفريقيا وخاصة سواحل تونس والجزائر والمغرب وقد يمتد نطاق هبوبها الى جزر البحر المتوسط الواقعة فى حوضه الغربى وجزر صقلية وسردينيا والبليار [١] . كما تصل مؤثراتها ورمالها الناعمة الى السواحل الشرقية لأسبانيا.

ويطلق على الرياح المحلية الحارة المتربة والآتية من الصحراء الكبرى متجهة نحو الساحل الشمالى الغربى لأفريقيا وجنوب غرب أوربا اسماء محلية متعددة. منها تعرف باسم السولانو فى منطقة جبل طارق، واللفيش على طول السواحل الجنوبية الشرقية من أسبانيا، واللست فى جنوب أسبانيا وحوض نهر الأندلس.

هـ – الهرمتان *Harmattan* :

تتكون هذه الرياح المحلية المتربة عند مناطق إلتقاء الرياح التجرية الشمالية الشرقية مع الرياح التجارية الجنوبية الغربية على طول ساحل غانة خلال فصلى الشتاء والربيع، فتتجه رياح الهرمتان نحو مقدمات الانخفضات الجوية ونتيجة هبوبها من الصحراء الكبرى نحو ساحل غانة، فهى عبارة عن رياح حارة محملة بالغبار والرمال الناعمة، وتنجح الهرمتان فى نقل هذه الرمال الى مسافة تبلغ مئات من الكيلو مترات، وتؤدى الى شدة تلوث الجو وتعذر الرؤية، ويبدو قرص الشمس أحمر قانياً أثناء النهار وتحجب الرمال

---

(1) a - Emmanuel de Martonne, "Traité de géographie physique" Tome premier Neuviéme édition, Paris (1957), p. 172.

الدقيقة ظهور النجوم ليلاً[١] . ومع ذلك يطلق عليها أهالى إقليم ساحل غانة تعبير «رياح الطبيب» ذلك لأنها تقلل من الرطوبة المرتفعة التى تميز هواء هذا الإقليم[٢] .

و - البركفيلدرز :

تحدث هذه الرياح المحلية فى قارة أستراليا (بنصف الكرة الجنوبى) عند مرور الانخفاضات الجوية فى جنوب شرق أستراليا. وينتج عن ذلك هبوب الرياح المحلية المتربة من صحراء غرب أستراليا الى المقدمات الدفيئة للانخفضات الجوية، وينتج عن هذه الرياح المحلية ارتفاع درجة حرارة الهواء وتلوثه بالغبار والرمال الدقيقة الناعمة وسوء حالة الروية.

يتضح من هذا العرض أن الرياح المحلية التى تهب من المناطق الصحراوية الحارة الجافة متجهة نحو المقدمات الدفيئة للانخفاضات الجوية، تكون رياحاً دفيئة محملة بكميات ضخمة من الأتربة والرمال الدقيقة الحجم. وعند هبوب هذه الرياح المحلية المتربة يتكون أحياناً ما يعرف باسم العواصف الترابية *Dust storms*.

ويزداد حدوث العواصف الرملية فوق أسطح التربة الرملية المفككة الحبيبات خاصة فى الصحراء الكبرى الأفريقية (بفعل رياح الخماسين والقبلى والسموم والسيروكو) وكذلك فوق مناطق واسعة من القسم الجنوبى الغربى للولايات المتحدة الأمريكية وسهولها الوسطى. وعندما يتميز هواء هذه المناطق الأخيرة بجفافه (كما حدث فى ولاية داكوتا الشمالية عام ١٩٣٠) تحمل العواصف الرملية معها كميات هائلة من الذرات الترابية وتنقلها لمسافات طويلة تبعد

---

(١) محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦) ص ١٧٥ .

(٢) أ - د. عبد العزيز طريح شرف «الجغرافيا المناخية والنباتية» الاسكندرية (١٩٦١)

ب - د. فهمى هلالى أبو العطا «الطقس والمناخ» الاسكندرية (١٩٧٠) ص ١٧١ .

(1) Howard, J. Critchfield, "General Climatology", Prentice-Hall, N. J. (1966), p. 98-99.

آلاف الكيلومترات عن مناطقها الأصلية.

(٣) الرياح المحلية الجبلية المرتفعة الحرارة ذاتياً والتى تهب نحو مقدمات الانخفاضات الجوية :

تتميز هذه المجموعة من الرياح المحلية بإرتفاع درجة حرارتها أيضاً وهبوبها نحو المقدمات الدفيئة للانخفضات الجوية، إلا أنها تكتسب حرارتها ذاتياً كذلك نتيجة لهبوطها فوق سفوح المنحدرات الجبلية المضادة لاتجاهها ومن بين أنواعها :

أ – الفهن *Foehn* :

ترجع نشأة رياح الفهن المحلية الجبلية تبعاً لمرور الانخفاضات الجوية فى أواسط أوربا من الغرب الى الشرق مصاحبة للرياح الغربية، فى نفس الوقت الذى يتكون فيه مراكز من المرتفعات الجوية (أضداد الأعاصير) فى شمال إيطاليا. وعلى ذلك تهب هذه الرياح المحلية من شمال إيطاليا وتتجه شمالاً وتصعد الفهن السفوح الجنوبية لمرتفعات الألب الوسطى المواجهة لاتجاهها *Wind-ward sides*، وفوق هذه السفوح الجبلية تنخفض درجة حرارة (١) الرياح مع الإرتفاع، وبالقرب من القمم الجبلية تنخفض درجة حرارتها الى ما دون نقطة الندى ومن ثم تسقط الأمطار أو الثلوج، وتفقد الرياح قسماً كبيراً من بخار الماء الذى كان ممتلأً فيها، كما أنها تكتسب بعض الحرارة هنا بفعل الحرارة الكامنة فى الجو، ثم تصعد الفهن القمم الجبلية ذاتها، وتنحدر من عند هذه القمم الجبلية وتهبط السفوح الجبلية المضادة لاتجاهها *Lee-ward sides*، وعلى هذه السفوح ترتفع درجة حرارة هذه الرياح ذاتياً *Adiabatic heating* (أكثر من ١٢ْ م عما كانت عليه درجة حرارتها من قبل) وذلك بسبب إنضغاطها *Compression* أثناء عمليات هبوطها الى ما تحت أقدام السفوح الجبلية.

---

(١) يصل سمك الثلج الذى تصهره رياح الفهن فى مدة نصف يوم فقط نحو ٦٥ سم.

ب - الشنوك *Chinook* :

تحدث هذه الرياح المحلية الجبلية فى ولايات السهول الوسطى الأمريكية المتاخمة للسلاسل الجبلية الشرقية لمرتفعات الروكى خاصة ولايات وايومنج ومونتانا وداكوتا الجنوبية. فعندما تمر الانخفاضات الجوية فى شرق الولايات المتحدة الأمريكية وأواسطها، تنساب نحو مقدماتها هذه الرياح المحلية الجبلية. وكمثل رياح الفهن فى المرتفعات السويسرية تصعد رياح الشنوك المنحدرات الغربية لمرتفعات الروكى، وتنخفض درجة حرارتها مع الارتفاع الى ما دون نقطة الندى ومن ثم تتعرض للتكاثف ويسقط ما بها من أمطار، ثم توالى هذه الرياح عملية صعودها المنحدرات الجبلية وتعبر قمم الجبال. وعند هبوطها على السفوح الجبلية الشرقية المضادة لاتجاهها (خاصة السفوح الشرقية لمرتفعات «بيج بلت» *Big Belt* فى ولاية مونتانا، «وابسروكا وبيج هورن» *Absaroka and Big Horn Mts* فى ولاية وايمنج) تنضغط الرياح وترتفع درجة حرارتها ذاتياً من ٣٠° ف الى أكثر من ١٠° ف.

جـ - سانتا آنا *Santa Ana* :

يعزى هبوب هذه الرياح المحلية الى مرور الانخفاضات الجوية على طول الساحل الغربى لولاية كاليفورنيا (بالولايات المتحدة الأمريكية)، وتتجه رياح سانتا آنا من صحارى أريزونا وموجاف وكلورادو الى مقدمات المنخفضات الجوية خلال فصلى الشتاء والربيع. وتجمع هذه الرياح المحلية بين صفة كل من الرياح المحلية الصحراوية الحارة المتربة، والرياح المحلية الجبلية التى تتشكل خصائصها العامة تبعاً لعمليات صعودها المنحدرات الجبلية المواجهة لاتجاهها، وهبوطها المنحدرات الجبلية المضادة لاتجاهاتها، وعلى أى حال فإن رياح سانتا آنا هى فى جملتها عبارة عن رياح حارة متربة، تسبب عند حدوثها بعض الخسائر لبساتين الفاكهة فى وادى كاليفورنيا.

(٤) الرياح المحلية الباردة التى تهب نحو مؤخرة الانخفاضات الجوية:

تتميز هذه المجموعة من الرياح المحلية بهبوبها نحو الجبهات الباردة ومؤخرات الانخفاضات الجوية، ومن ثم فهى تعد رياحاً باردة تعمل على إنخفاض درجة حرارة الهواء فى المناطق التى تتجه إليها ومن بين أظهر أنواعها :

أ - المسترال *Mistral* :

تهب رياح المسترال من المناطق الجبلية المرتفعة ومن مناطق القمم الثلجية، وتتجه صوب الأراضى المنخفضة المنسوب، على شكل لسان من الهواء البارد، وتساعد الجاذبية الأرضية وثقل هذا الهواء عملية هبوط هذا الهواء ومن ثم يطلق بعض الكتاب على مثل هذه المجموعة من الرياح المحلية تعبير [1] «رياح الجاذبية» *Gravity or Katabatic wind* وتنساب هذه الرياح الباردة من على الجوانب الجبلية العالية التى تحيط بوادى الرون *Rhone Valley* فى فرنسا خاصة خلال فصلى الشتاء والربيع، ومما يزيد من شدتها وسرعة هبوطها الى أسفل، إتجاهها صوب مؤخرات المنخفضات الجوية التى تمر بالمنطقة. وتنحصر رياح المسترال قبل وصولها جنوباً الى شاطئ البحر المتوسط (جنوب فرنسا) بين السلاسل الجبلية فى حوض نهر الرون، ويزيد ذلك من سرعتها وشدة برودتها، ثم تصل هذه الرياح الى مياه البحر المتوسط فتعلو الأمواج وتتكون العواصف الهوجاء التى تعرقل الملاحة البحرية خلال فترة هبوبها. ومن أمثلة المسترال كل من رياح الكريفت *Le Crivetz* فى رومانيا، ورياح كوسافا *Kosava* فى شمال غرب شبه جزيرة البلقان، ورياح البامبيرو *Pampero* فى جنوب شرق البرازيل والأرجنتين والبستر فى نيوزيلند [2] . والبورا *Bora* فى مرتفعات الألب الشرقية.

---

(1) Howard, J. Critchfield, "General Climatology", N. J. (1966), p. 99.

(2) Emmanuel de Martonne, "Traité de géographie physique", Tome premier, Neuviéme édition, Paris (1957), p. 171-172.

ب - النورثر (الشمالية) *Norther* :

تهب هذه الرياح فوق القسمين الأوسط والجنوبى من الولايات المتحدة الأمريكية وتصل مؤثراتها الطقسية أحياناً الى المكسيك وجزر البحر الكاريبى. وهى عبارة عن رياح محلية شمالية قوية باردة تهب نحو مؤخرة الانخفاضات الجوية خلال فصل الشتاء. ويساعد على هبوبها، إنسياب أضداد الأعاصير القطبية *Polar anticyclones* الى الجنوب، وإقترابها من مناطق الانخفاضات الجوية فى العروض المعتدلة. ويصاحب قدوم النورثر إنخفاض سريع فى درجة حرارة الهواء (تنخفض درجة الحرارة بنحو ٢٠° ف الى ٣٠° فى خلال ساعة واحدة) وتساقط المطر والثلج. وعندما تكون النورثر شديدة البرودة، تعرف فى البرارى الأمريكية وتكساس باسم الموجات الباردة *Cold Waves* وينتج عنها حدوث الصقيع الذى يتلف الكثير من المزروعات ويسبب أضرار بالغة لحدائق الموالح فى منطقة سواحل خليج المكسيك وحوض نهر ريوجراند (١).

وتشبه النورثر رياح محلية باردة أخرى تعرف فى السهول الشمالية بالولايات المتحدة الأمريكية باسم البليزارد *Blizzard* وتتميز هذه الأخيرة بشدة سرعتها التى تصل الى نحو ٣٢ ميلاً فى الساعة. ويصاحب حدوث البليزارد سقوط الثلج على شكل ذرات دقيقة الحجم *Drifting powedery snow* وتبعاً لكثرتها فى الجو يبدو هذه الذرات الثلجية على شكل ضباب سطحى.

(1) Blair, T. A. "Weather elements", 4th edi. N. J. (1960), p. 238.

الفصل الرابع عشر
الكتل الهوائية والانخفاضات الجوية
والزوابع المدارية

أولاً : الكتل الهوائية :

يعرف الأستاذ بلير [١] *Blair (1959)* الكتلة الهوائية على أنها حجم كبير من الهواء الذى يتميز بعظم تجانسه على طول قطاعات عرضية فى كتلته الهائلة السمك. وعلى ذلك يتميز هواء هذه الكتلة بتشابه خواصه الطبيعية، وبوجه خاص من حيث قيم درجات حرارته ومقدار الضغط الجوى ونسبة الرطوبة فيه. وتتكون مثل هذه الكتل الهوائية فوق مناطق واسعة المساحة، قليلة التضرس من سطح الأرض وكذلك فوق المسطحات المائية، على أن تكون حركة الرياح خفيفة فى هذا المناطق. وعلى ذلك يكتسب الهواء الملامس لسطح الأرض خصائص طبيعية له تتشابه من جزء الى آخر فيه، فى حين يتشكل الهواء العلوى هو الآخر تدريجياً بفعل المتغيرات التى تحدث فى الهواء السفلى. ويعمل كل من الإشعاع الأرضى *Radiation* والهواء الصاعد الى أعلى *Vertical Convection*، وحركة الهواء الدوامية والإضطرابات الهوائية داخل الكتلة الهوائية *Turbulence* وحركات التأفق الهوائى أو التحرك الأفقى للهواء *Advection or horizontal movement* على تنظيم الخصائص الطبيعية للكتل الهوائية وتنوعها من كتلة الى أخرى.

---

(1) Blair, T. A. "Weather elements", Prentice-Hall 3rd edi, N. J. (1959), p. 174-190.

إستقرار الكتل الهوائية وعدم إستقرارها :

Stability and instability of air masses

يهتم المتيورولوجى بدراسة العوامل التى تؤدى الى حدوث التيارات الهوائية الصاعدة فى الجو، ذلك لأن عمليات حدوث التساقط *Precipitation* (المطر والثلج) ترتبط بعمليات التبريد الذاتى *Adiabtic Cooling* والتكاثف *Condensation* بعد صعود الهواء المحمل ببخار الماء الى أعلى. وإذا استقرت كتلة هوائية وظلت فى مكانها، ولم تتأثر بإختلافات حرارية فى طبقاتها السفلى بحيث تجعلها معرضة للإضطرابات الهوائية، فيطلق على مثل هذه الكتل تعبير كتلة هوائية مستقرة *Stable air mass*. أما إذا تعرض القسم الأسفل من الكتلة الهوائية، لهواء ساخن ـ كما سبقت الإشارة من قبل فقد ينتج عن ذلك حدوث إضطرابات هوائية رأسية *Vertical motions* داخل نطاقها، وتتحرك الكتلة الهوائية من موقعها الى مواقع أخرى فى الغلاف الجوى ذات ضغط جوى أكثر إنخفاضاً، ويطلق عليها فى هذه الحالة تعبير كتلة هوائية غير مستقرة *unstable air mass* أما إذا كانت الظروف الطقسية المحلية تساعد الكتلة الهوائية على التحرك من منطقة نشوءها الى مناطق أخرى بحيث تظل الكتلة الهوائية محتفظة بصورتها العامة، ولا تتعرض إلا لإضطرابات هوائية ثانوية فيطلق عليها فى هذه الحالة تعبير كتلة هوائية فى حالة الثبات المحايد [(١)] *In a state of netural equilibrium*.

وعندما تتميز الكتلة الهوائية ببرودتها وجفافها، فغالباً ما تحافظ على إستقرار حالتها.

أما حالة استقرار الكتلة الهوائية، فتحدث أساساً عند إرتفاع درجة حرارة الهواء فى القسم الأسفل منها، وعلى ذلك يقل وزن الهواء الساخن ويصعد الى أعلى. وتتعرض الكتلة الهوائية للاضطرابات الهوائية والتيارات الهوائية

---

(1) Taylor, G. F., "Acronalitical Meteorology" Pitman, N. Y. (1938), p.

الدوامية فى قسمها الأسفل فى حين تحدث عمليات التكاثف والتساقط فى قسمها الأعلى، وكلها عوامل تساعد على تحرك الكتلة الهوائية أو تشتتها.

وعند تحرك الكتل الهوائية قد تعمل بعضها على الإحتفاظ بخصائصها الطبيعية الأصلية وخاصة فى أجزائها العليا. فى حين تتشكل الأجزاء السفلى منها بين الحين والآخر بالموثرات المحلية المختلفة التى تؤثر فى حالة الهواء القريب من سطح الأرض. وعندما تتقابل كتلتان هوائيتان مختلفتان فى خصائصهما الطبيعية فإنهما لا يمتزجان بسهولة، بل يتجمع الهواء الساخن ويصعد الى أعلى، ويهبط الهواء البارد الى أسفل ويتكون ما يعرف باسم «الجبهات» *Fronts* أو جبهات الإضطراب الهوائى *Discontinuities* على طول مناطق إلتقاء الكتل الهوائية الباردة بالكتل الهوائية الأدفأ منها نسبياً. ونتيجة لتكوين الجبهات فوق أجزاء متفرقة من سطح الأرض تضطرب حالة الطقس بين ساعة وأخرى.

وقد رجح العلماء عدداً من التقاسيم لتصنيف الكتل الهوائية الى مجموعات مختلفة، ويعد التقسيم الأمريكى للكتل الهوائية أكثر هذه التقاسيم شيوعاً، ويعتمد هذا التقسيم على أساس إختلاف مناطق نشأة الكتل الهوائية ووفقاً لذلك تقسم مجموعات المتل الهوائية الى أربع مجموعات هى :

١ - الكتل الهوائية القطبية (الشديدة البرودة) *Arctic (A)*
٢ - الكتل الهوائية القطبية الباردة. *Polar (P)*
٣ - الكتل الهوائية المدارية. *Tropical (T)*
٤ - الكتل الهوائية الإستوائية. *Equatorial (E)*

ثم تصنف هذه الكتل الهوائية السابقة تصنيفاً ثانوياً على أساس موقع نشأتها بالنسبة للمسطحات المائية أو اليابس وعلى ذلك يمكن تمييز كل منه الى أى من :

أ - كتل قارية. *Continental (c)*

ب - كتل بحرية. *Maritime (m)*

كما تصنف أى من كل هذه الكتل الهوائية التى سبقت الإشارة إليها على أساس إختلاف درجة حرارتها الى ما يلى :

أ - كتل هوائية دفيئة. *Warm (w)*

ب - كتل هوائية باردة. *Cold (k)*

ثم وفقاً لحالة الكتل الهوائية تضاف عدة رموز أخرى ثانوية فإذا كانت الكتل الهوائية مستقرة أو غير مستقرة يرمز إليها بالرموز الإضافية الآتية :

أ - كتل هوائية مستقرة. *Stable (s)*

ب - كتل هوائية غير مستقرة. *Unstable (u)*

وقد ميز المتيورولوجيون كذلك كتلاً هوائية علوية ثانوية تتكون فى الطبقات العليا من التروبوسفير *Troposphere* خاصة فوق المناطق المرتفعة فى العروض شبه المدارية، ويهبط هواء هذه الكتل من أعلى الى أسفل ومن ثم يرمز إليها بالرمز *Subsidence air (S)*. ولا يتأثر مكان ما من سطح الأرض بجميع مجموعات الكتل الهوائية، بل قد تتشكل ظروفه الطقسية والمناخية بمؤثرات بعض هذه الكتل الهوائية.

ثانيا : الإنخفاضات الجوية والإرتفاعات الجوية والأعاصير أو الزوابع المدارية

تتكون كل من هذه الظاهرات الجوية نتيجة لإختلاف مراكز الضغط الجوى فى الغلاف الغازى القريب من سطح الأرض، ولعمليات صعود الهواء الى أعلى وهبوطه الى أسفل خاصة بمناطق إلتقاء الكتل الهوائية المختلفة الخصائص الطبيعية. وفيما يلى عرض موجز للخصائص العامة لكل من هذه الظاهرات الجوية المختلفة.

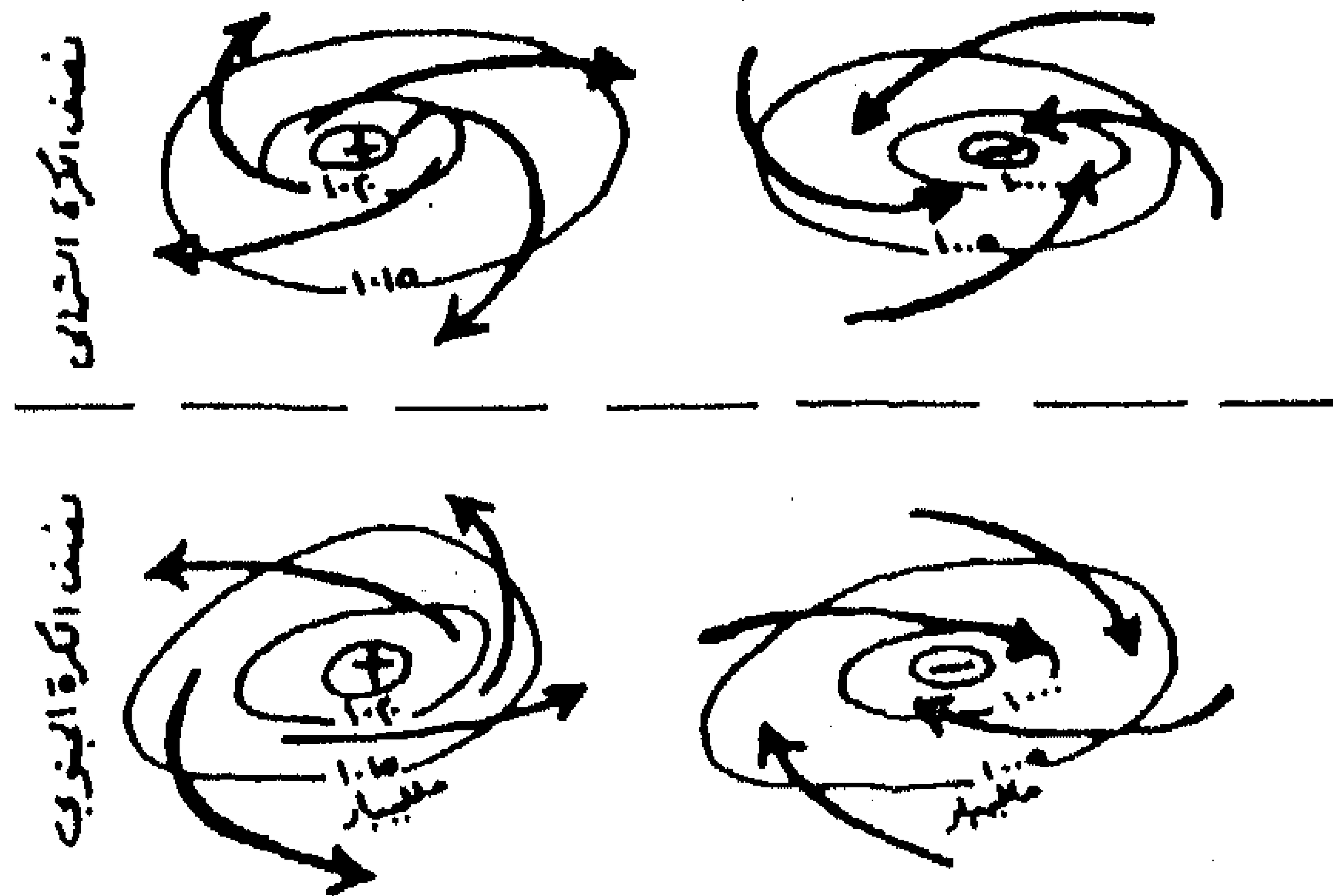
(١) الإنخفاضات الجوية *Depressions or Cyclones* :

عندما ترتفع درجة الحرارة فوق موقع ما ويصعد الهواء الساخن الى أعلى ويخف وزنه يتكون فوق هذا الموقع منطقة من الضغط المنخفض تظهر على خرائط الطقس (بإستخدام خطوط الضغط المتساوية) على شكل مقعرات شبه مستديرة الشكل، ويقل مقدار الضغط الجوى فيها فى إتجاه مراكزها، ويكون الضغط المنخفض شديداً كلما كانت خطوط الضغط المتساوية متقاربة ومركزة فى منطقة محدودة المساحة، فى حين يكون الضغط الجوى المنخفض بسيطاً إذا كانت خطوط الضغط المتساوية متباعدة بعضها عن البعض الآخر وتشغل منطقة واسعة الأبعاد. هذا وتدور الرياح حول مركز الضغط المنخفض فى إتجاه ضد عقرب الساعة فى نصف الكرة الشمالى، ومع إتجاه عقرب الساعة فى نصف الكرة الجنوبى. وتكون سرعة الرياح الشديدة جداً فى حالة إذا ما كان الضغط المنخفض عميقاً، وتقل سرعتها إذا ما كان الضغط المنخفض ضحلاً (شكل ٨٠).

وتسمى الإنخفاضات الجوية عادة بهذا الاسم *Depressions* فى العروض المعتدلة وتصاحب هنا الرياح العكسية الغربية وتتجه معها فى إتجاه عام من

الغرب الى الشرق [1] . فى حين يطلق عليها اسم الأعاصير المدارية *Tropical Cyclones* في العروض المدارى، وهى تصاحب هنا الرياح التجارية ويكون إتجاهها عامة من الشرق الى الغرب. وعلى الرغم من الإختلافات المتيورولوجية بين كل من الانخفاضات الجوية والأعاصير المدارية إلا أنهما عبارة عن إنخفاضات جوية يختلفان بالنسبة لما حولهما من أنواع الضغط الأخرى، وتتنوع مؤثراتها على المناطق التى تهب عليها وفقاً للخصائص المتيورولوجية الخاصة بكل منهما.

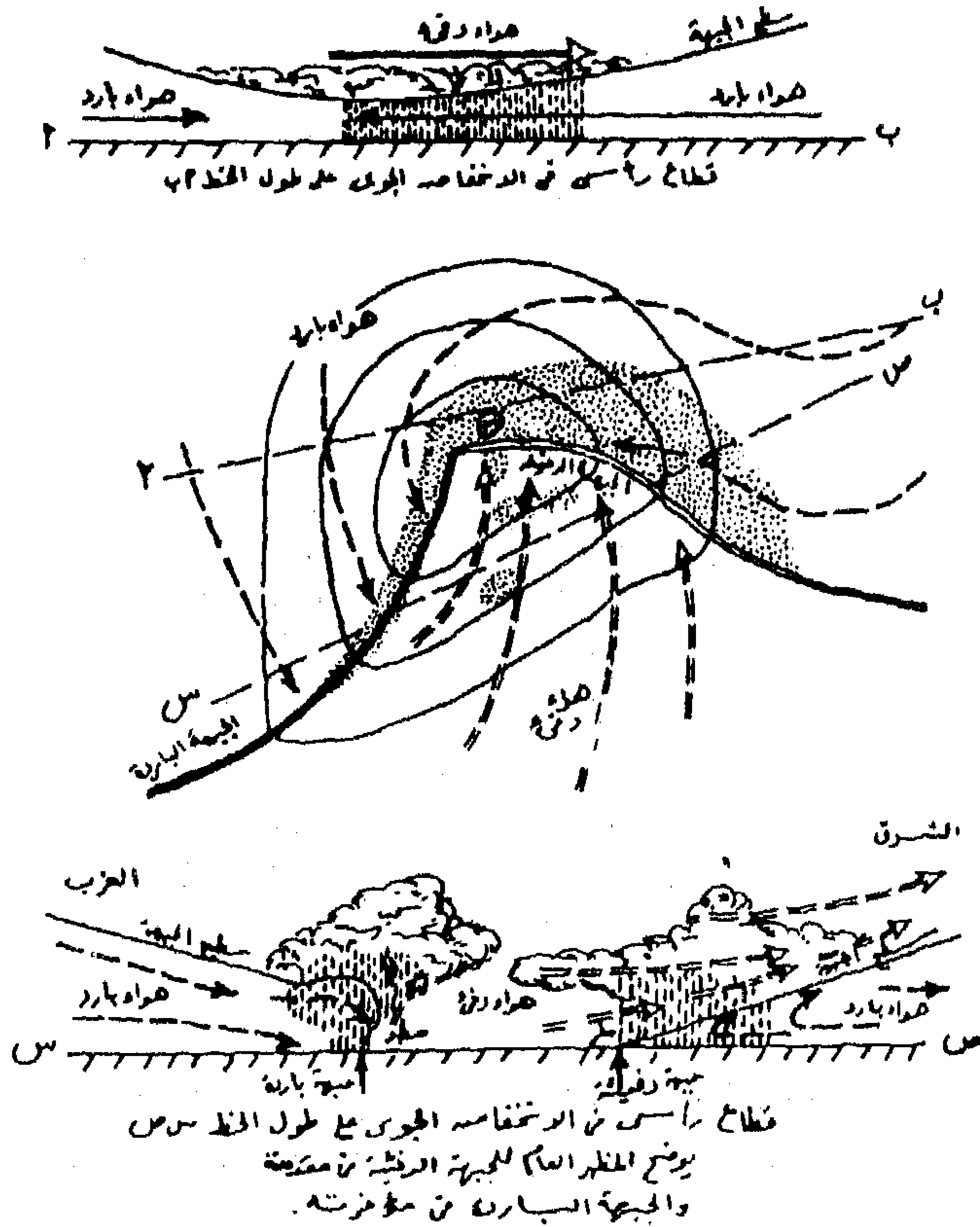
ونتيجة لتقابل هذه الكتل الهوائية وصعود الهواء الساخن وهبوط الهواء البارد تتكون الإنخفاضات الجوية. ويطلق على الحد الفاصل بين الهواء الساخن وبين الهواء البارد تعبير الجبهة *Front* . وترسم الجبهة على خرائط الطقس على شكل خط يفصل بين الكتلتين الهوائيتين المختلفتين ويصل إمتداد هذا الخط حتى سطح الأرض. ولا تعد الجبهة فى الواقع خطا بل هى عبارة عن كتلة لها ثلاثة أبعاد *Three dimensional* حيث أن لها إمتداد رأسى وآخر أفقى، كما أن لها سمك معين (شكل ٨١) ويتراوح عرض سطح الجبهة من ٢



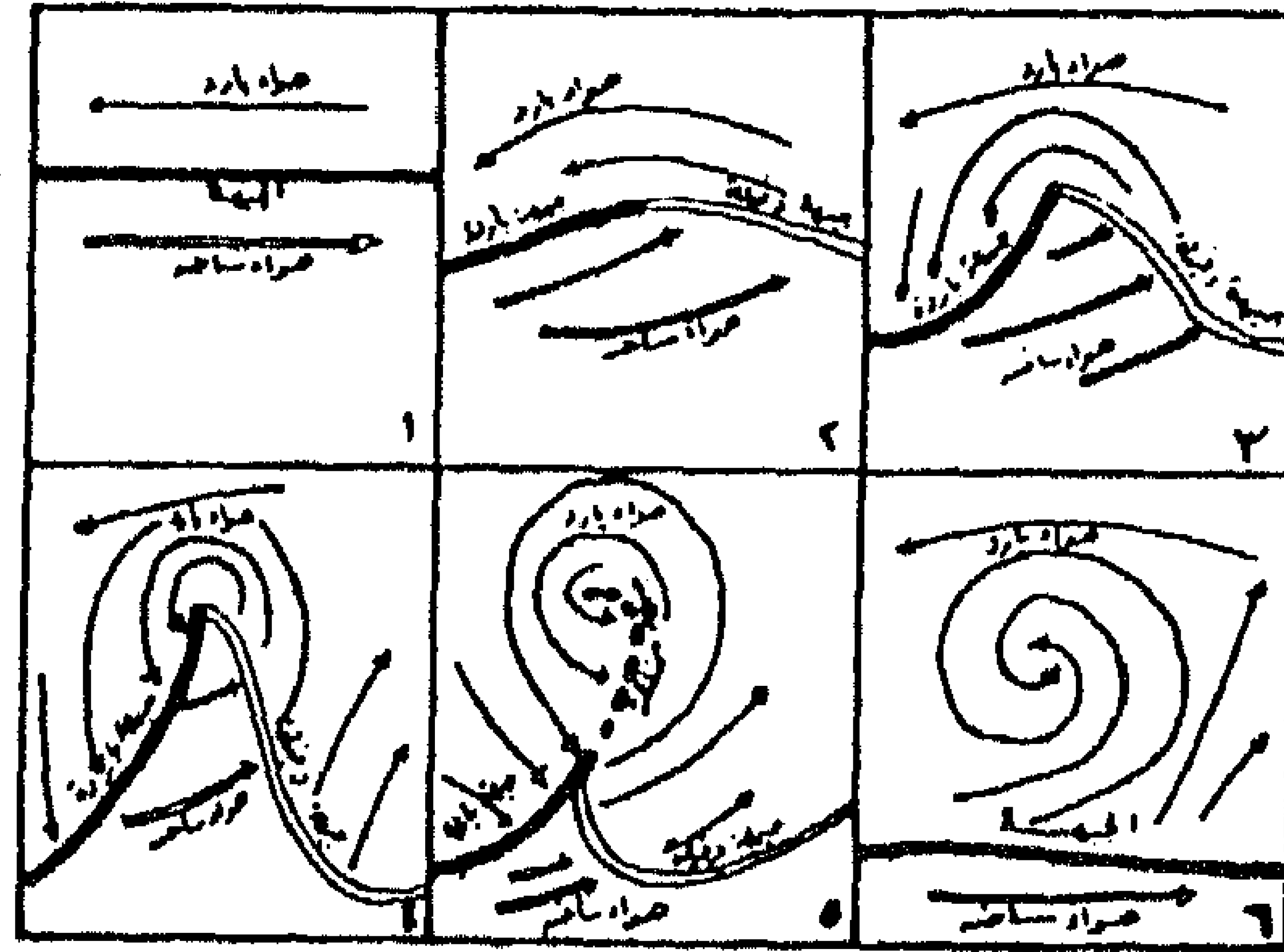
(شكل ٨٠) إتجاه الرياح فى حالة الإنخفاضات الجوية (الأعاصير) والإرتفاعات الجوية (أضداد الأعاصير) فى نصفى الكرة الأرضية

(1) Lockwood, J. G. "World Climatology", Edward Arnold, (1979) P. 15 and P. 86-89.

- ٣ ميل ولكنه قد يصل أحياناً الى ٥٠ ميلاً. وعند نقطة إلتقاء الرياح الغربية بالرياح القطبية (الشرقية) فى العروض الباردة تكاد توجد جبهات شبه دائمة ذات أسطح ممرجة الشكل (بسبب إندفاع الهواء الساخن الى أعلى) وتعرف باسم الجبهة القطبية *Polar Front*. وعلى طول هذه الجبهة تحدث الإنخفاضات الجوية أو أعاصير العروض المعتدلة *Extratropical (midlatitude) cyclones*. وفى الأعاصير المثالية بنصف الكرة الشمالى يهبط الهواء البارد الأثقل وزناً الى أسفل الهواء الساخن الذى يصعد هو الآخر بدوره الى أعلى (شكل ٨٢).



(شكل ٨١) الخصائص العامة للانخفاض الجوى وقطاعات رأسية فى أجزاء من جبهاته



١- مرحلة البداية   ٢- بداية الدورة الإعصارية   ٣- تكوين جبهة دفيئة واضحة

٤- الجبهة الباردة تلاحق الجبهة الدفيئة   ٥ مرحلة الإنسداد   ٦- مرحلة التشتت

(شكل ٨٢) مراحل تكوين إمتلاء الإنخفاض الجوى فى العروض الوسطى

ومن ثم ينحصر الهواء الساخن بالتدريج وخلال مراحل متعاقبة على شكل لسان هوائى ساخن هائل الحجم وتتكون منطقة من الضغط المنخفض يحيط بها هواء بارد أثقل وزناً ويتمثل فيه مراكز من الضغط المرتفع (١). ونتيجة لتتابع مراحل صعود الهواء الساخن الى أعلى وهبوط الهواء البارد الى أسفل تنساب الرياح مع إتجاه عقرب الساعة فى نصف الكرة الشمالى *Counterclockwise cyclones* وتتلاقى إتجاهات الرياح مع خطوط الضغط المتساوى فى زوايا يتراوح مقدارها من ٢٠° الى ٤٠°، هذا الى جانب أثر قوة كوريوليس فى إنحراف إتجاه الرياح مع الإنخفاضات الجوية فى نصفى الكرة الأرضية.

ويطلق على اللسان الهوائى الساخن الذى يتقدم من جنوب الإنخفاض اسم القطاع الدفىء *Warm Sector*، وعندما يحل الهواء الساخن محل الهواء البارد، فإن مقدمة الإنخفاض تعرف باسم الجبهة الدفيئة *Warm Front*، وتقع الجبهة الباردة *Cold Front* الى الغرب من الجبهة الدفيئة وتؤدى هذه الجبهات الى تغير حالة الطقس بسرعة، فالجبهة الدفيئة الأمامية ترفع درجة

(1) Howard, J. Critchfield, "General Climatology", N. J. (1966), p. 110.

حرارة الهواء، فى حين تأتى بعدها الجبهة الباردة التى تخفض من درجة الحرارة وتسبب سقوط الأمطار. ومثل هذا النوع من الطقس يعرف باسم طقس الجبهات *Frontal Weather* .

(٢) الإرتفاعات الجوية :

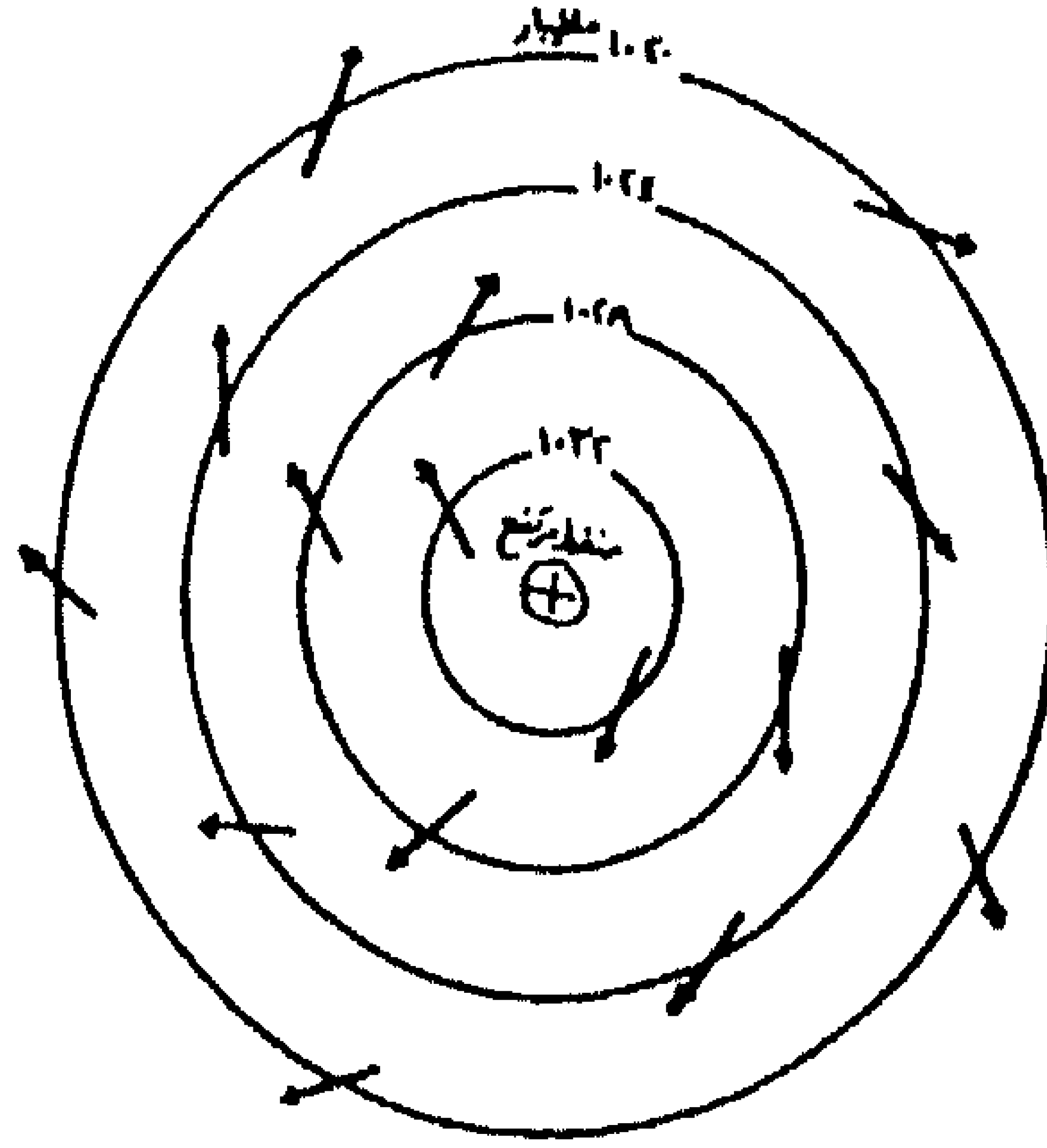
أضداد الأعاصير *Anti-Cyclones* **:**

بخلاف الانخفاضات الجوية أو الأعاصير *Cyclones* التى تسبب حدوث الأمطار الغزيرة فإن القسم الكبير من الإرتفاعات الجوية أو أضداد الأعاصير *Anti-Cyclones* لا ينجم عنه سقوط الأمطار إلا فى حالات نادرة. وتمثل هذه الارتفاعات الجوية مراكز من الضغط الجوى المرتفع بحيث تزداد فيها ثقل الهواء وكثافته، وتتعرض للهواء البارد الهابط وتدور فيها الرياح حول مراكز الإرتفاعات الجوية ببطء وبحيث تكون مراكز الضغط المرتفع على يمين إتجاه الرياح فى نصف الكرة الشمالى وعلى يسارها فى نصف الكرة الجنوبى. وعلى ذلك يكون دوران الرياح مع عقرب الساعة فى نصف الكرة الشمالى وضد عقرب الساعة فى نصف الكرة الجنوبى (قورة كوريوليس) [١].

ويرتفع الضغط الجوى فى حالة تكوين أضداد الأعاصير وقد يصل مقداره عند مركز الارتفاع الجوى الى نحو ١٠٤٠ ملليبار ويقل الضغط الجوى كلما بعدنا عن هذا المركز. ومن ثم فإن الرياح فى حالة أضداد الأعاصير تهب من المركز وتتجه الى خارج نطاق المرتفع الجوى (شكل ٨٣) وذلك بعكس إتجاه الرياح فى حالة الأعاصير الجوية حيث تتجه الرياح هنا صوب مركز الإنخفاض الجوى. وتنشأ أضداد الأعاصير فى المناطق التى تتعرض للهواء البارد الهابط كما هو الحال فوق مسطحات اليابس الواسعة خلال فصل الشتاء، وفوق الأراضى المغطاة بالثلوج فى العروض الباردة والقطبية، كما يمكن أن تتكون أضداد الأعاصير كذلك فوق المسطحات المائية التى تشكلها الكتل المائية السطحية الباردة والتيارات البحرية الباردة.

---

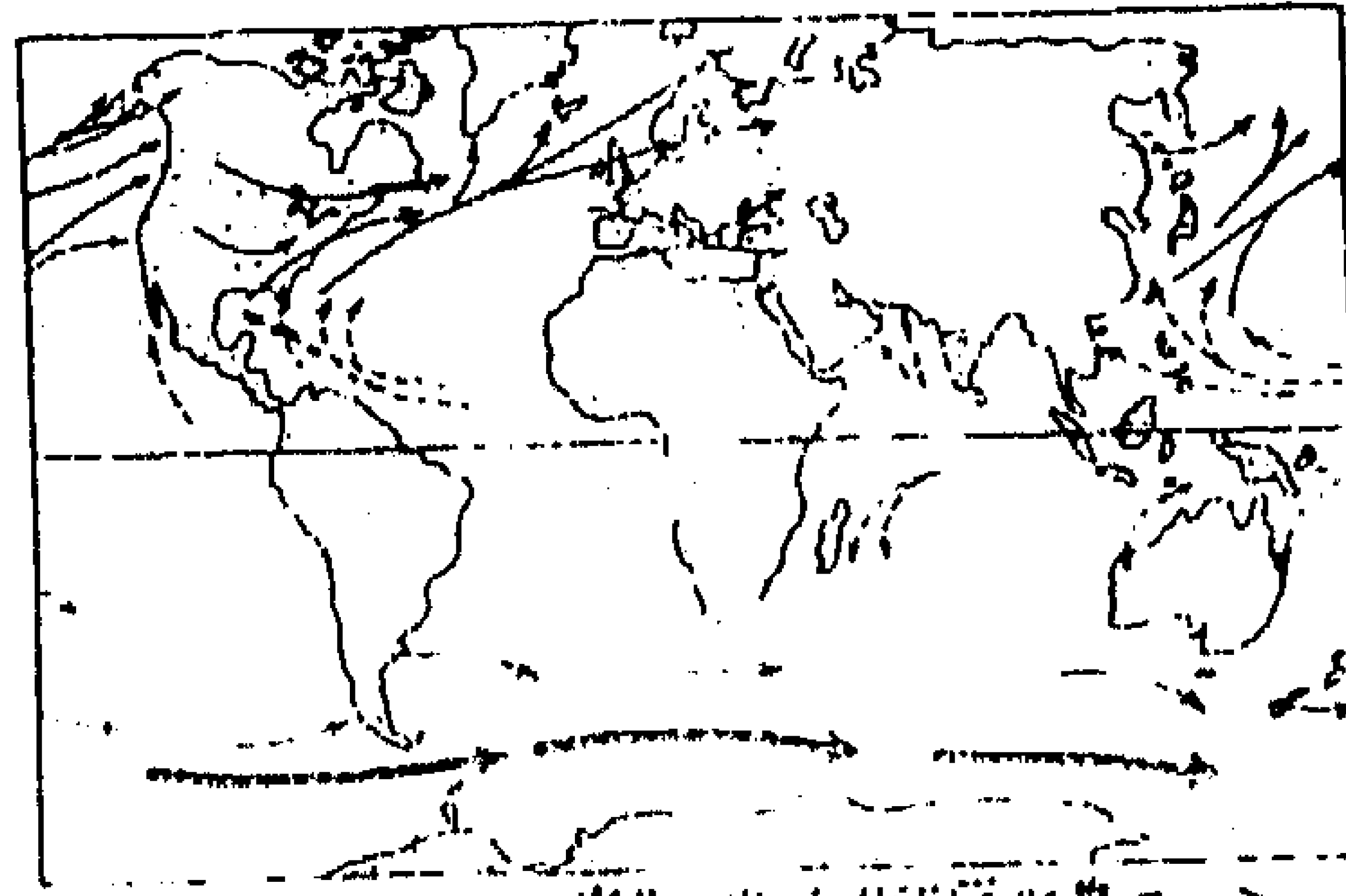
(1) Howard, J Critchfield. "General Climatology". N. J (1966), p. 115.



(شكل ٨٣) إتجاه الرياح فى حالة عند الإعصار فى نصف الكرة الشمالى

(٣) الأعاصير أو الزوابع المدارية Tropical Cyclones or Storms

تعرف الإنخفاضات الجوية فى العروض المدارية باسم الأعاصير المدارية أو بالزوابع المدارية، كما أن لها اسماء محلية مختلفة فتعرف فى البحر الكاريبى وعلى طول السواحل الشرقية للمكسيك باسم الهريكين *Hurricanes*، وفى بحر الصين باسم التيفون *Typhoons* وفى بحر اليابان وحول جزر الفلبين باسم باجايو *Baguio* وفى المحيط الهندى باسم السيكلونز *Cyclones* وعند سواحل شرق أستراليا تعرف باسم الويلى ويلز *Willy Willies*. (شكل ٨٤) وعلى الرغم من أن الزوابع أو الأعاصير المدارية تتشابه مع



(شكل ٨٤) مسالك الإنخفاضات الجوية والأعاصير المدارية

الإنخفاضات أو الأعاصير الجوية فى العروض المعتدلة من حيث إنهما إنخفاضات جوية تهب الرياح نحو مراكزهما وتدور حول مراكز الضغط المنخفض ضد إتجاه عقرب الساعة فى نصف الكرة الشمالى ومع إتجاهه فى نصف الكرة الجنوبى (١) . إلا أن الزوابع المدارية *Tropical Cyclone Storms* تختلف عن الإنخفاضات الجوية *Depressions* بما يلى :

أ - يتبين أن خطوط الضغط المتساوى حول مركز الانخفاض الجوى فى الزوابع المدارية تبدو شديدة التقارب جداً، كما أن مقدار الضغط فيها ينخفض كثيراً عن مقداره فى حالة الانخفاضات الجوية فى العروض المعتدلة. (قد يصل مقدار الضغط الجوى عند الزوبعة المدارية الى نحو ٢٨,٥٠ بوصة أو ٩٦٥ ملليبار) . ونتيجة لإنخفاض مقدار الضغط فى مركز أو عين الزوابع المدارية فتتجه الرياح صوبه بسرعة شديدة (١٧٥ الى ٢٠٠ ميل فى الساعة) وتدور الرياح اللولبية بشدة فى حركة دائرية هائلة السرعة *Cyclonic Whirl on Vertes* (شكل ٨٥) .

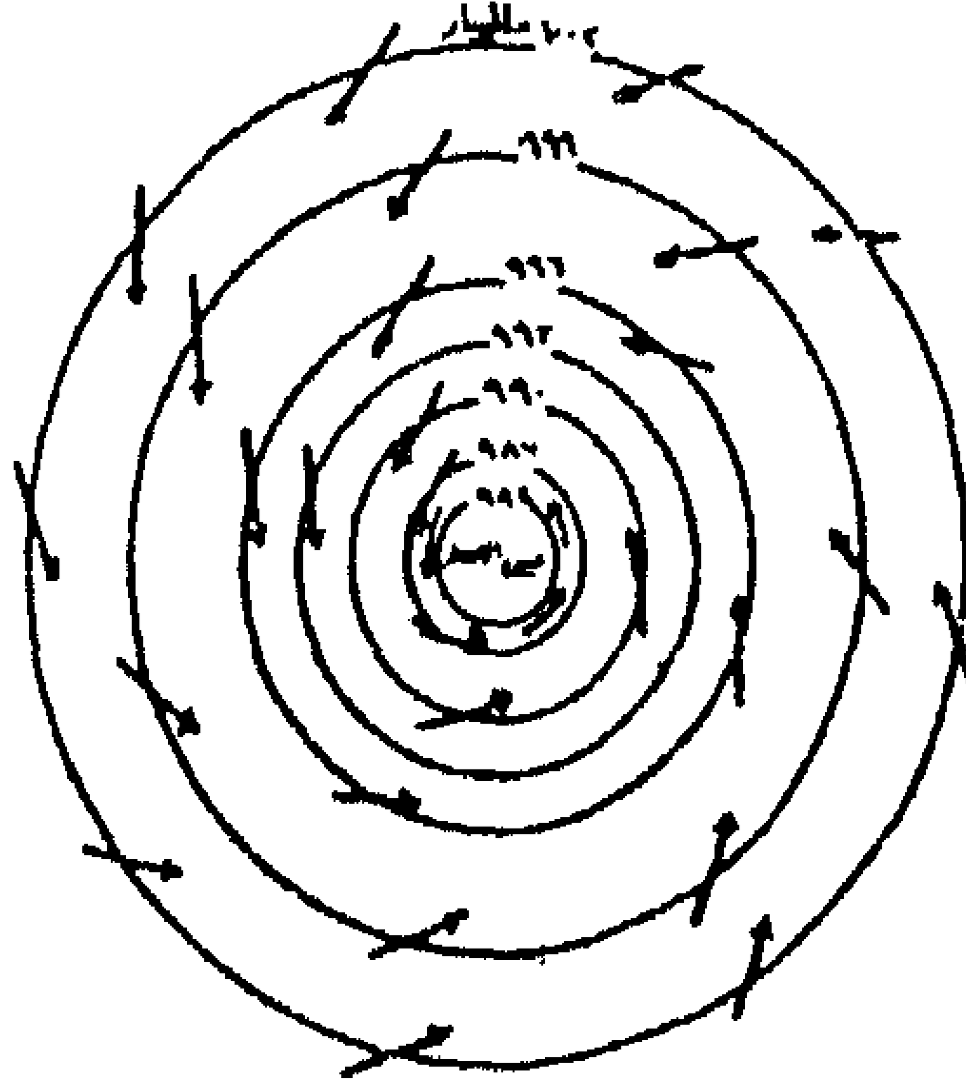
ب - لا توجد جبهات *Fronts* للزوابع المدارية كما هو الحال لجبهات الإنخفاضات الجوية فى العروض المعتدلة. ولكن قد يتمثل فى منطقة عين الإعصار ذاتها عين هادئة *Calm Eye* يتراوح قطرها من ٥ الى ٣٠ ميلاً. وهذا يرجع الى هبوط الهواء عند عين الإعصار ويؤدى ذلك الى إستقراره نسبياً فى هذا المركز (٢) .

جـ - إذا كانت الزوبعة المدارية شبه ساكنة فتتوزع الأمطار الساقطة عند كل أجزاء الزوبعة، أما إذا كانت الزوبعة المدارية متحركة فيزداد سقوط الأمطار عند النصف الأمامى من الزوبعة. وعلى أى حال تتميز هذه الأمطار الساقطة مع الزوابع بغزارتها وتبدو على سطح الأرض وكأنها سيول عنيفة.

---

(1) Blair, T. A., "Weather elements", 4th edi. Prentice-Hall. N. J. (1959), p. 212.

(2) Howarw, J. Critchfield, "General Climatology", N. J. (1966), p. 118.



(شكل ٨٥) مقدار الضغط الجوى وإتجاه الرياح فى الهريكين

د - لا يصاحب سقوط البرد *Hail* عمليات التساقط فى الزويعة المدارية بخلاف ما يحدث فى حالة التساقط بالإنخفاضات الجوية.

هـ - تتمركز الزوابع المدارية أساساً فوق المسطحات البحرية فى مناطق الرهو الإستوائى وما يجاورها وبوجه خاص عند الجوانب الغربية من المحيطات المدارية والإستوائية، فى حين تحدث الإنخفاضات الجوية فوق كل من اليابس والماء على السواء.

ويكثر حدوث الزوابع المدارية عند هوامش مناطق الرهو الإستوائى بالجوانب الغربية من المحيطات حيث يكون الهواء أعلى رطوبة منه فى شرق المحيطات، ولكن هذا لا يمنع من حدوث بعض الزوابع المدارية الضعيفة نسبياً عند شرق المحيطات فى العروض شبه الإستوائية كتلك التى تحدث حول جزر الرأس الأخضر فى المحيط الأطلسى. وبجوار السواحل الغربية للمكسيك بشرق المحيط الهادى إلا أن أظهر مناطق تكوين الزوابع المدارية تتمثل فى المناطق الآتية (١).

١ - فوق مياه البحر الكاريبى وخليج المكسيك وخاصة حول جزر الباهاما

(1) Blair, T. A., "Weather elements", 4th edi. Prentice-Hall. N. J. (1959), p. 216.

. *Bahamas*

٢ – فوق مياه الساحل الغربى للمكسيك وأمريكا الوسطى بمياه المحيط الهادى.

٣ – فوق مياه بحر الصين وبالمسطحات المائية المجاورة لجزر الفلبين.

٤ – فوق مياه خليج بنغال وبدرجة أقل فوق مياه البحر العربى.

٥ – فوق القسم الجنوبى من المحيط الهندى وخاصة شرق جزيرة مدغشقر.

٦ – فوق مياه المحيط الهادى الجنوبى وبوجه خاص حول جزر ساموا *Samoa* وجزر فيجى *Fiji*.

ومن أظهر الزوابع المدارية فى العالم وأشدها عنفاً الهريكين والترنادو.

(أ) الهريكين *Hurricanes* :

يتركز نطاق هبوب الهريكين على حوض البحر الكاريبى وخليج المكسيك، وتحدث هذه الزوابع المدارية العنيفة خلال فصلى الصيف والخريف. وتتوقف قوة الهريكين وعنفها على مدى نسبة الرطوبة فى الهواء الدافىء بمناطق الرهو وصعود الهواء الساخن فيما بين المدارين *Intertropical Convergenece*. وتؤثر قوة كوريوليس (إنحراف الرياح مع دوران الأرض حول نفسها) فى إتجاهات الهريكين خاصة عند وقوع منطقة الهواء الصاعد المدارى بالقرب من الدائرة الاستوائية. وتنشأ الهريكين أساساً فى مناطق الضغط المنخفض الإستوائية ثم تتجه شمالاً فى المحيط الأطلسى الشمالى. ويتراوح متوسط قطر الهريكين من ١٠٠ – ٦٠٠ ميل، ثم يزداد قطرها عند خروجها من المناطق الإستوائية، وتتقدم الهريكين بمعدل يتراوح من ١٠ الى ٢٠ ميلاً فى الساعة. وإذا تركت سرعة الرياح المعتدلة عند الأطراف الخارجية لإعصار الهريكين، فإنها تكون شديدة القرب من عين أو مركز الهريكين حيث تتراوح هنا من ٧٥ الى ١٥٠ ميل فى الساعة. وعلى ذلك فإن التخريب الهائل الذى ينتج عن حدوث الهريكين يرجع الى شدة سرعة الرياح التى تصاحبها وتتميز سحب الهريكين بأشكالها وقد نجح العلماء اليوم فى رصد أشكال سحب الهريكين بواسطة الرادارات والطائرات. وكذلك بواسطة

الأقمار الصناعية المناخية (المتيوسات) وتسمى الهريكين بأسماء محلية متعددة تبعاً لمواسم هبوبها على السواحل الجنوبية للولايات المتحدة الأمريكية منها هريكين إللا *Ella* ، وهريكين أليدا *Alida*، وهريكين جلاديس *Gladys*. كما ينتج عن الأمطار الأعصارية الغزيرة حدوث الفياضانات التى تسبب هى الأخرى الدمار والخراب فى المراكز العمرانية. وإذا حدثت الهريكين فوق مياه المحيطات فإنها تؤدى الى ارتفاع الأمواج الهادرة الخطرة على الملاحة البحرية، وعند إصطدام الأمواج العالية بخط الساحل قد ينتج الكثير من تخريب وتدمير المنشآت العمرانية. وعلى ذلك يهتم مكتب الطقس بالولايات المتحدة الأمريكية بتتبع حركات الهريكين ومسالكها والإهتمام ببيانات البالون المذيع *Rawin* ومشاهدة الزوابع المدارية على شاشات الرادار وحساب سرعة الرياح فيها حتى يمكن إرشاد السكان (فى مناطق حدوث الهريكين) الى تجنب أخطارها.

(ب) الترنادو [1] *Tornadoes* :

تعد الترنادو أكبر الزوابع المدارية قوة وعنفاً، وأشدها تدميراً بحيث يمكن لها أن تدمر كل ما يقع فى طريقها من منشآت عمرانية، غير أن قطر الترنادو محدود جداً ولا تغطى هذه الزوابع المدارية إلا مساحات محدودة جداً من سطح الأرض (عدة مئات من الأمتار المربعة أحيانا) ونادراً ما يزيد قطر

---

(١) يرجع اسم «التورنادو» اللغة الأسبانية حيث أن "tornar" معناه يدور "to turn" ويدل هذا الاسم على شدة سرعة دوران الرياح اللولبية حول مركز الاعصار بدرجة لا يمكن حسابها حتى اليوم ولو باستخدام أحدث آلات الرصد الجوى وذلك تبعاً لتعرض هذه الآلات للتدمير بفعل شدة الرياح راجع :

Stamp D. L., "A glossary of geographical terms,"Longmans", London (1961), p. 455.

ويطلق الأستاذ محمود حامد محمد فى كتابه «المتيورولوجية» عام ١٩٤٦ ص ١٨٤ على هذه الزوابع المدارية إسم «الأعاصير النكباء» وقد جرى العرف على تسميتها بالترنادو علماً بأن النطق الصحيح لهذا الإسم فى اللغة الإنجليزية هو «التورنيدو».

الترنادو عن ١/٤ ميل إلا أن الترنادو تمتد فى مسالك طولية تتراوح من مئات الياردات الى أكثر من ميل. وتبعاً لشدة سرعة الرياح (الخارقة العادة وقد تصل الى ٥٠٠ كم فى الساعة) حول مركز الإنخفاض الجوى للترنادو فتعرف هذه الزوابع المدارية المدمرة بالرياح اللولبية أو الحلزونية الدوارة *The Twister or the Whirling Winds*. ومن بين أهم مناطق سطح الأرض تأثراً بهذه الزوابع الحلزونية المدارية المدمرة هى المناطق الجنوبية من الولايات المتحدة الأمريكية المطلة على خليج المسكيك، وقد يمتد أثر الترنادو شمالاً حتى ولايات تكساس وأوكلاهوما وميسورى وتكساس والميسيسبى.

عواصف الرعد والبرق *Thunderstorms* :

إذا ما سمع الرعد من أى عاصفة جوية يمكن أن تسمى مثل هذه العواصف بعواصف الرعد. وقد يحدث الرعد *Thunder* فى حالة تكوين الزوابع أو العواصف المدارية، ومع الإنخفاضات الجوية والترنادو، إلا أن تعبير «عواصف الرعد والبرق» بمعناه الخاص يدل على العواصف التى تنشأ بفعل التيارات الهوائية الصاعدة *Convectional* خلال فترة وقتية قصيرة *Short duration*. وتتخذ عواصف الرعد والبرق مراحل أدوارها فى سحب المزن الركامية التى تبدو أعاليها على شكل السندان *Anvil-shaped cumulonimbus cloud*، ويسقط بسببها أمطار غزيرة جداً (قد يسقط خلال العاصفة الواحدة نحو ١/٣ مليون طن من مياه الأمطار) خلال وقت قصير وقد يصاحب هذه الأمطار سقوط البرد وأحياناً الثلج [(١)]. وعلى ذلك ينتشر حدوث عواصف الرعد والبرق فى مناطق متفرقة من سطح الأرض وخاصة فى المناطق المدارية الحارة الرطبة التى تتعرض بكثرة الهواء الإنقلابى الصاعد الحار الرطب، وللإنخفاض الملحوظ فى معدل الإنخفاض الرأسى لحرارة الهواء مع الارتفاع *Large lapse-rate* فى حين لا تحدث عواصف

---

(1) Blair T A 'Weather elements 4th edi Prentice-Hall N J (1959) p. 221-230.

الرعد والبرق فى المناطق التى تتعرض للهواء الهابط البارد كما هو الحال عند القطبين وكثيراً ما تحدث عواصف الرعد والبرق خلال فترة ما بعد الظهر فى العروض المدارية الرطبة وتتكون معها سحب المزن الركامى وعند ظهور هذه السحب الأخيرة الداكنة اللون تنتشر الغيوم فى وقت لا يزيد عادة عن نصف الساعة ثم يصحو بعدها الجو وتصفو السماء وتهب الرياح الخفيفة (١).

أسباب حدوث الرعد والبرق :

البرق *Lightning* هو عبارة عن وميض الضوء *Flash of light* الذى يحدث نتيجة عمليات الشحن الكهربى فى الغلاف الجوى، أما الرعد *Thunder*فهو عبارة عن الصوت *The sound* الذى يحدث نتيجة للتمدد الفجائى للهواء بفعل الحرارة الشديدة الفجائية الناجمة عن حدوث البرق. فقد أكدت الدراسات المتيورولوجية الحديثة بأن سحب المزن الركامى عبارة عن مولد كهربائى ثابت *Static electricity generator* لها القدرة على بناء الملايين من وحدات الجهد الكهربى (ڤولت) خلال وقت قصير. فعند إنقسام ذرات مياه الأمطار، تكتسب الذرات المنفصلة عن الذرات المائية الأصلية شحنات موجبة فى حين تبقى الذرات المائية الأصلية بشحناتها السالبة والتى تتساوى فى مقدارها مع الشحنات الموجبة. ومن ثم تتمثل معظم الشحنات الموجبة فى القسم الأسفل من سحب المزن الركامى، أما فى القسم الأعلى منها وعند مستوى نقطة الندى، فإن تساقط حبات الثلج يكسب البلورات الثلجية شحنات سالبة، ويشحن الهواء المحيط بها بشحنات سالبة. وعند صعود الهواء الساخن الى أعلى فإنه يحمل معه الشحنات الموجبة الى أعالى سحب المزن الركامى، ونتيجة لاصطدام الشحنات الموجبة مع الهواء الصاعد بالشحنات المتمثلة عند أعالى السحابة يحدث التفريغ الهوائى داخل هذه السحب ويتكون

---

(1) Byers, H. R., and Brham, R. R. Jr "The Thunderstorm" Washington D. C U. S. Dept. of Commerce (1949).

البرق والرعد [١] .

والبرق عبارة عن شحنات كهربائية مباشرة متوالية يبلغ المدة الزمنية للشحنة الواحدة منها ٠,٠٠٠٢ من الثانية وتتراوح شدة تياره من بضعة آلاف الى نحو ١٠٠,٠٠٠ أمبير، ومتوسط الجهد الكهربى نحو ١٠٠ ألف فولت. ويتخذ وميض البرق أشكالاً متعددة فقد يكون شوكى المظهر *Forked* أو متعرج الإمتداد *ZigZag* أو مخططاً أو مقلماً *Streak* أو صفائحياً *Sheet* وقد يكون وميض البرق على شكل كرات ضوئية كبيرة الحجم *Ball Lighting*.

ويتضح أن البرق والرعد يحدثان فى وقت واحد تقريباً بفعل التفريغ الكهربى داخل سحب المزن الركامى [٢] . ولكن لما كانت سرعة الضوء تبلغ ٣٠٠ ألف كيلو متر فى الثانية، وسرعة الهواء ٣٣٠ متراً فى الثانية وأن سرعة سقوط المطر دون ذلك بكثير. فإن المشاهد لهذا النوع من العواصف يرى البرق أولاً. ثم يسمع الرعد ثانياً وبعدها بقليل يستقبل هطول المطر.

الصواعق *Strokes* :

بعد حدوث البرق مباشرة قد تنساب من السحب المشحونة كهربائياً موجات وراء موجات متتالية ذات شحنات كهربائية سالبة تتجه صوب سطح الأرض فى خطوط متكسرة بسرعة تقترب من سرعة الضوء وعندما تصبح هذه الموجات الكهربائية على ارتفاع ٣٠٠ متراً من سطح الأرض تتأثر أعالى المبانى والمنشآت العمرانية العالية بالمجال الكهربائى لهذه الموجات وتدخل فى نطاقه. وعلى ذلك تتفاعل الموجات السالبة الهابطة مع تلك الموجات الموجبة الصاعدة من سطح الأرض مع الهواء الساخن الصاعد الى أعلى

---

(1) Blair, T. A., "Weather Elements", Prentice-Hall, N. J. (1959), p. 228.

ولذلك ينبغى حماية المبانى العالية من الشحنات الكهربائية فى الجو بوضع عمود البرق Lighting rod لحماية المبنى من الصواعق.

(2) Howard, J. Critchfield, "General Climatology", N. J. (1966), p. 125.

وينتج ذلك حدوث الصاعقة (١) .

وعلى ذلك فإن الصواعق تصيب المنشآت العمرانية العالية بدرجة أشد منها بالنسبة للمبانى المنخفضة القريبة من سطح الأرض. وتتعرض ناطحة السحاب المعروفة باسم مبنى الآمبير ستيت *Empire State* فى مدينة نيويورك لعشرات من الصواعق العنيفة كل عام وخاصة أثناء حدوث عواصف الرعد والبرق. ولحماية هذا المبنى من أخطار الصواعق تم تزويده بعمود حديدى مثبت فى أعالى المبنى ومركب فوق مخروط حديدى يعمل على إمتصاص الشحنات الكهربائية السالبة الهابطة أثناء حدوث عواصف الرعد والبرق، وتسرى هذه الشحنات الى الأرض مباشرة. ومع ذلك إعتاد الناس مشاهدة أضواء الصواعق البراقة حول جوانب مبنى الآمبير ستيت (خاصة خارج نطاق حماية مانع الصواعق) *Lighting Rod* كما حدث ذلك بشكل واضح جداً فى يوم ٢٤ أغسطس ١٩٣٦ .

---

(١) حسن ابو العينين ،من الاعجاز العلمى فى القرآن، الجزء الثانى، القرآن الكريم والجغرافيا الطبيعية، مطبعة العبيكان، الرياض (١٩٦٦).

الفصل الخامس عشر
الرطوبة والبخر والنتح والتكاثف
ومظاهره فى النظام الغازى

يلعب بخار الماء *Water Vapour* «أو الرطوبة *Moisture*» الممثل فى الغلاف الجوى دوراً هاماً فى تشكيل الخصائص المتيورولوجية واختلافها من مكان لآخر على طول القطاعات الرأسية فى الغلاف الجوى للمكان الواحد. ويعد بخار الماء فى الجو العامل الرئيسى لحدوث مظاهر عمليات التكاثف وفى إختلاف نسبة الرطوبة فى الجو *Humidity* وفى تكوين السحب *Cloudiness* والتساقط *Precipitation* والرؤية *Visibility* . كما يؤثر بخار الماء وتراكم السحب فى تنظيم الإشعاع الشمسى وحفظه فى الطبقات السفلى من الغلاف الغازى بالقرب من سطح الأرض. فيمتص بخار الماء بعض الإشعاع الشمسى الساقط عليه ثم يقوم بتوزيعه ثانية الى الهواء بعد حدوث عمليات التكاثف. وخلال عملية التبخر يصبح بخار الماء عاملاً وسيطاً فى إنتشار الحرارة الكامنة *Latent heat* فى الهواء. ومن ثم لبخار الماء دوره فى عمليات التبادل الحرارى *Heat exchange* وتبادل الرطوبة *Moisture exchange* بين الهواء وسطح الأرض (١).

ويعود مصدر بخار الماء فى الجو الى التبخر الذى تتعرض له المسطحات المائية على سطح الأرض، ويعود قسم كبير منه الى الأرض عن طريق عمليات التساقط. وتستمر عمليات التبخر والتساقط فى الغلاف الجوى مع إستمرار حركة الهواء الرأسية وحركته الأفقية أى التبادل الحرارى وأثره فى

---

(1) Howard, J. Critchfield, "General Climatology" Prentice-Hall, N. J. (1966), p. 37

إتمام الدورة الهيدرولوجية *Hydrological Cycle* ، أو ما يعرف باسم التوازن المائى فى الغلاف الجوى *Water balance of the atmosphere* . وعلى ذلك فإن أى قطرة من مياه المحيطات تعد غير ثابتة فى مكانها لأنها تتعرض للتحرك أفقياً مع التيارات والأمواج البحرية، ورأسياً مع حركة التيارات الرأسية البحرية. وتتعرض قطرات مياه المحيطات كذلك للتبخر وقد تتحول الى بخار ماء يصعد الى الجو ثم تتعرض لعمليات التكاثف (فى طبقات الجو العليا عندما تنخفض درجة الحرارة الى ما دون نقطة الندى) وتسقط من جديد على شكل قطرات من مياه الأمطار التى قد تتجمع بدورها فى مياه الأنهار أو البحيرات وتعود بطريقة أو أخرى الى مياه البحر الذى تبخرت منه. ويحسن قبل دراسة مظاهر التكاثف أن نشير بإيجاز الى هذه العمليات المهمة، ألا وهى الرطوبة والبخر والنتح والتكاثف وكيفية قياسها فى الدراسات المتيورولوجية.

أولاً : الرطوبة *Humidity*

يهتم المتيورولوجيون بقياس كمية الماء الممثلة فى الهواء وحساب الضغط الناتج عنه وذلك بمعرفة عدة طرق منها :

١ - ضغط بخار الماء *Vapour pressure* :

يدل ضغط بخار الماء على الضغط الناتج عن بخار الماء فى الهواء. ويعبر عنه باستخدام نفس مقاييس الضغط الجوى أى الملليبار أو البوصات / الزئبق. فعندما يحتوى الهواء كل من بخار الماء الذى يمكن له أن يحمله (الرطوبة النسبية ١٠٠ ٪) عند درجة حرارة معينة، وعند مقدار ضغط معين، فيقال أن الهواء وصل الى درجة التشبع *Saturated*. وأن الضغط الفعلى لبخار الماء يساوى ضغط بخار الماء فى حالة التشبع. ويقال أن الهواء وصل الى درجة حرارة نقطة الندى *Dew-point temperature*.

٢ - الرطوبة النوعية *Specific humidity* :

وهى عبارة عن النسبة بين حجم بخار الماء الممثل فعلاً فى الهواء الى وحدة معينة من الهواء أى أن :

	وزن بخار الماء		ضغط بخار الماء		ب	
الرطوبة النوعية =	ـــــــــ	=	ـــــــــ	=	ــــ	
	وزن الهواء		الضغط الكلى للهواء		هـ	

أى بمعنى آخر أن كل كيلو جرام من الهواء به ١٢ جرام من بخار الماء، فإن رطوبته النوعية تكون ١٢ جرام لكل كيلو جرام [١].

ويستخدم بعض الكتاب ما يعرف باسم النسبة المركبة *mixing ratio* والتى تمثل هنا حجم بخار الماء لكل وحدة معينة من الهواء الجاف. وعلى ذلك تكون حصيلة النسبة المركبة هى مجموع حجم بخار الماء بالإضافة الى حجم الهواء الجاف. ففى المثال السابق (الرطوبة النوعية = ١٢ جرام / كجم) تكون النسبة المركبة = ١٢ + ١٠٠٠ = ١٠١٢ جم.

٣ - الرطوبة المطلقة أو الكلية *Absolute humidity* :

وهى عبارة عن مقدار وزن بخار الماء الموجود بكل وحدة حجمية معينة من الهواء (أى جرام لكل متر مكعب) أو (جرين لكل قدم مكعب) [٢].

٤ - الرطوبة النسبية *Relative humidity* :

وهى عبارة عن النسبة المئوية *ratio* بين مقدار بخار الماء الموجود فعلاً فى وحدة حجم معينة من الهواء، وبين مقدار ما يمكن أن يتحمله هذا الحجم ليصل الى درجة التشبع فى نفس درجة حرارته وعند نفس مقدار ضغطه. أى أنها بمعنى آخر عبارة عن النسبة المئوية بين الرطوبة المطلقة أو الكلية للهواء

(1) Blair, T. A., "Weather Elements", N. J. (1960) p. 44-46.

(٢) الجرين grain : هو أصغر وحدة وزن فى النظام المترى ويساوى ٠,٠٦٤٨ من الجرام.

والرطوبة المطلقة لنفس حجم هذا الهواء عندما يصل الى حالة التشبع دون أن تتغير درجة حرارة الهواء أو مقدار ضغطه [1]. ويلاحظ أن كثافة بخار الماء (كتلته الموجودة فى حجم معين) تتناسب مع الضغط الذى تسببه، ومن ثم يعبر عن الرطوبة النسبية بالمعادلة الآتية :

$$\text{ر ن} = \frac{\text{ض}}{\text{ض ش}} \times ١٠٠$$

حيث إن :

ر ن = الرطوبة النسبية.

ض = الضغط الجزئى لبخار الماء عند درجة حرارة ما.

ض ش = ضغط بخار الماء فى حالة التشبع عند نفس درجة الحرارة السابقة.

فإذا كان هناك ١ كيلو جرام من الهواء يمكن له أن يحمل ١٢ جراماً من بخار الماء عند ضغط معين ودرجة حرارة معينة ليصل درجة التشبع ولكنه يحمل فعلاً ٩ جرامات من بخار الماء فقط عند نفس درجة الحرارة فإن الرطوبة النسبية لهذا الهواء = $\frac{٩}{١٢} \times ١٠٠ = ٧٥\%$

وإذا فرض أن درجة حرارة الهواء ارتفعت عن مقدارها السابق فإن الهواء يمكن له أن يحمل وزناً أكبر من بخار الماء قد يصل الى ١٥ جراماً فإن رطوبته النسبية فى هذه الحالة = $\frac{٩}{١٥} \times ١٠٠ = ٦٠\%$

أما إذا حدث العكس وإنخفضت درجة حرارة الهواء فإن قدرته على تحمل بخار الماء تقل وقد يصل فرضاً الى ٩ جرامات من الكيلو جرام الواحد ومن ثم فإن رطوبته النسبية = $\frac{٩}{٩} \times ١٠٠ = ١٠٠\%$

---

(١) أ - محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦) ص ٢٣١.

ب - د. عبد العزيز طريح شرف «الجغرافيا المناخية والنباتية» الاسكندرية (١٩٦١) ص ١٤٦ - ١٤٨.

جـ - د. فهمى هلالى أبو العطا «الطقس والمناخ» الاسكندرية (١٩٧٠) ص ١٨٨.

أى أن الهواء فى هذه الحالة قد يصل الى درجة التشبع ولا يمكن له أن يتحمل أى زيادة فى كمية بخار الماء، وتتفق درجة التشبع *Saturation* مع نقطة الندى *Dew point* فى أن بخار الماء يتعرض عندهما لعمليات التكاثف بأشكالها المختلفة.

ثانياً : البخر والنتح

Evapotranspiration

يهتم المتيورولوجى بدراسة البخر وقياسه حيث إنه مصدر بخار الماء فى الهواء. هذا الى جانب أثر البخر فى نسبة الرطوبة فى التربة وفى مراحل نمو النبات. ويتوقف مقدار البخر من سطح مائى الى آخر خلال وقت محدد على ما يلى :

أ - ضغط بخار الماء على سطح المياه :

تؤثر المياه السطحية فى تنوع مقدار ضغط بخار الماء فوقها، فعند ارتفاع درجة حرارة المياه السطحية يزداد ضغط بخار الماء، ويؤدى ذلك الى زيادة البخر[١].

ب - ضغط بخار الماء فى الهواء :

حيث يختلف مقدار البخر لإختلاف ضغط بخار الماء فى حالة التشبع عند درجة حرارة المياه السطحية وبين ضغط بخار الماء الموجود فى الهواء. ويختلف العامل الأخير تبعاً لإختلاف الرطوبة النسبية فى الهواء[٢].

---

(١) وزن بخار الماء الى وزن الهواء يعادل نسبة ٢ : ٣، وعلى ذلك فإن الهواء المشبع بالرطوبة يكون أخف وزناً من الهواء الجاف، وعندما يتحول الماء الى بخار يحتاج الى قدر معين من الحرارة تعرف باسم «الحرارة الكامنة للتبخر»، وهى عبارة عن الحرارة اللازمة لتحويل جرام واحد من الماء الى بخار فى درجة غليان الماء ومقدار هذه الحرارة ٥٣٦ سعراً.

(2) Blair, T. AA., "Weather Elements", N. J. (1960), p. 51.

جـ - حركة الرياح :

حيث تعمل الرياح على نقل الهواء الرطب وأن يحل محله هواء جاف، ومن ثم يزداد البخر مع زيادة سرعة الرياح.

د - نسبة الملوحة :

فقد تبين أنه فى حالة وجود أملاح أو معادن ذائبة فى المياه تقلل من فعل البخر. وعلى ذلك فإن البخر من مسطح مائى محدد من البحر يقل بنحو ٥٪ من تعرض نفس هذا المسطح من المياه العذبة لعمليات التبخر.

ثالثاً : التكاثف

تتحول كميات هائلة من الغازات فى الجو من حالتها الغازية الى الحالة السائلة ثم الى الحالة الصلبة عن طريق التكاثف *Condenstation* أو الى الحالة الصلبة مباشرة (دون المرور بالحالة السائلة) عن طريق التسام *Sublimation*. فعندما يتعرض الهواء الرطب لأسطح باردة، قد يتعرض لدرجة من البرودة بحيث يفقد قدرته على تحمل بخار الماء، ومن ثم يتحول جزء من بخار الماء فيه الى الحالة السائلة (مياه) فوق هذه الأسطح الباردة وقد تتكون قطرات الندى *Dew*. ونتيجة لهذه العملية فإن الحرارة الكامنة من الهواء *Latent Heat* الناتجة عن تكاثف بخار الماء فى الجو، تؤدى الى رفع درجة حرارة الهواء وتقلل من عمليات التبريد. أما الحرارة التى يكون الهواء عندها مشبعاً بالبخار، وليس له القدرة على تحمل أى مقدار آخر من الماء عند نفس درجة حرارته (أى نسبة رطوبته ١٠٠٪) فيطلق عليها درجة حرارة نقطة الندى. ولكن ليس من الضرورى أن تكون نقطة الندى هى الحد الفاصل بين الحالة الغازية، وبين حدوث التكاثف، بل لحدوث هذه العملية الأخيرة، ينبغى أن يتوفر فى الهواء ما يعرف باسم نوايات التكاثف *Condensation Nuclei* والتى تتمثل فى الأتربة الدقيقة الحجم وذرات الرمال الميكروسكوبية والذرات الكربونية والملحية. وهذه الأخيرة تتكون بفعل تلاطم أمواج البحر

على صخور الشاطيء والجزر البحرية. هذا الى جانب أثر الذرات الكونية الدقيقة الحجم الساقطة بعد تفتت الشهب والنيازك فى الفضاء الخارجى (١).

ولكى تستمر عمليات التكاثف والتسام *Sublimation* فى الحدوث، فإن ذلك يتطلب المزيد من بخار الماء فى الجو وحدوث التشبع الزائد *Supersaturation* لضمان إستمرار تكوين قطرات الماء، وتحدث عملية التكاثف بفعل إنضغاط الهواء *Comperssing* وتبريده *Cooling*.

بعض مظاهر التكاثف فى النظام الجوى

يقصد بالتكاثف تحول بخار الماء الموجود فى الجو من حالته الغازية الى جسم سائل أو صلب بحيث يمكن رؤيته بالعين المجردة وذلك مثل الندى والضباب والسحاب والمطر. ولا يتوقف حدوث عملية التكاثف على إنخفاض درجة حرارة الهواء الى نقطة التجمد فقط ولكن أيضاً على مدى توافر نوايات التكاثف التى سبقت الإشارة الى أهميتها من قبل. ويمكن القول بأنه إذا إنخفضت درجة حرارة الهواء الى نقطة التجمد أو الى نقطة الندى، وبالقرب من سطح الأرض فقد يتعرض بخار الماء الممثل من الهواء لعمليات التكاثف التى تتخذ عدة صور مختلفة منها الندى *Dew* والصقيع *Frost* والضباب *Fogs* بأنواعه المختلفة. أما إذا إنخفضت درجة حرارة الهواء عند المستويات المرتفعة جداً من سطح الأرض (أكثر من ١٠,٠٠٠ قدم) الى أقل من نقطة الندى، فقد يتعرض بخار الماء الممثل فى الهواء لعمليات التكاثف التدريجية والفجائية وتتخذ مظاهر التكاثف عدة صور مختلفة منها البرد *Hail* والثلج *Snow* والسحب *Clouds* والمطر *Rainfall* ويستخدم المتيورولوجيون تعبير التساقط، *Precipitation* ليدل على كل ما يسقط من أمطار وثلج وبرد بفعل تكاثف بخار الماء فى الجو (٢).

---

(1) Fletcher, N. H., "Freezing Nuclei, Meteors and Rainfall", Science. 134 (1961), p. 361-367

(2) a Byers, H.R , "General Meteorology" Mc Graw-Hill, N Y (1959) 156-191

b - Lockwood, J "World Climatology" Norwich (1974)./

أولاً : بعض مظاهر التكاثف
فى الهواء القريب من سطح الأرض
(الندى والصقيع والضباب)

أ – الندى *Dew* :

يشاهد الندى فى الصباح الباكر على شكل قطرات مائية متجمعة على أسوار الحدائق وفوق أسطح الأجسام المعدنية المعرضة للجو وعلى شكل قطرات من الماء فوق أوراق النباتات خاصة أثناء الليالى التى تخلو فيها السماء من السحب *Cloudess Skies* ، والتى تهدأ فيها حركة الرياح. ويعزى إنخفاض درجة حرارة تلك الأجسام الى إنخفاض درجة حرارة الهواء الملامس لها بفعل الإشعاع أثناء الليل الى نقطة الندى (الصفر المئوى أو ٣٢ْ ف).

ب – الصقيع *Frost* :

الصقيع يشبه الندى من حيث أوقات ومواقع تكونه إلا أنه يختلف عنه فى التكوين حيث يتألف من بلورات صغيرة من الثلج، ويعزى ذلك الى إنخفاض درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض فى هذه الحالة الى أقل من الصفر المئوى، وغالباً ما يكون هذا الإنخفاض، إنخفاضاً فجائياً بحيث تتجمد بسببه الغازات الجوية الملامسة لسطح الأجسام المعدنية والقريبة من سطح الأرض تجمداً مباشراً وهو ما يسمى بعملية التسام *Sublimation*.

جـ – الضباب *Fog* :

يعد الضباب هو الآخر مظهراً من مظاهر تكاثف بخار الماء فى الهواء القريب من سطح الأرض. والضباب ما هو إلا ذرات مائية خفيفة الوزن تتطاير فى الهواء ويزداد ثقلها مع إقترابها من سطح الأرض. ولا تختلف

مكونات الضباب عن مكونات السحب المنخفضة الطبقية *Low Stratus* إلا أنه يقع قريباً من سطح الأرض، وتقل فيه الرؤية عن ١ كم أو أقل، أما إذا كانت الرؤية أكثر من ١ كم فيعرف بخار الماء المتكون في الهواء في هذه الحالة بإسم «الشابورة *Mist*»، وفي هذه الحالة الأخيرة سرعان ما تنقشع عند سطوع الشمس في الصباح الباكر [١] . وعلى ذلك فإن قياس الضباب يجري عن طريق قياس مدى الرؤية السائدة في المنطقة *Prevailing Visibility*. ولتقدير مدى الرؤية في الممرات الرئيسية بالمطارات الجوية يستخدم جهاز يعرف باسم ترانسيميسومتر *Transmissometer* لقياس سرعة إنتقال الضوء *Transmission of light* على طول ممر ثابت. وقد تتأثر الرؤية في هذه الحالة بكل ما يتعلق في الهواء من أتربة ودخان وبخار ماء.

ونظراً لخطورة حدوث الضباب على سلامة حركة الطيران والنقل البري، فقد وضع العلماء مقياساً دولياً للضباب (يقيس من صفر الى ٩) ويعتمد هذا المقياس على المشاهدة بالعين المجردة تبعاً لأقصى مسافة يمكن للعين رؤية معالم الأشياء عندها في وضوح [٢] . ويتلخص مقياس الضباب في الجدول الآتي :

---

(1) a - Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate", N. Y. (1954), p. 120-125.

b - Howard, J. Critchfield. "General Climatology", Prentice Hall, N. J. (1966), p. 56-59.

(٢) محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦) ص ٢٣٦ .

أقصى سرعة ترى فيها الأشياء بوضوح	رقمه الدولى	نوع الضباب
٥٠ متراً	٠	ضباب عاتم
٢٠٠ متراً	١	ضباب كثيف
٥٠٠ متراً	٢	مشاهدة رديئة جداً
١ كيلو متر	٣	مشاهدة رديئة
٢ كيلو متر	٤	شابورة (عجاج)
٤ كيلو متر	٥	مشاهدة ضعيفة
١٠ كيلو مترات	٦	مشاهدة معتدلة
٢٠ كيلو متراً	٧	مشاهدة واضحة
٥٠ كيلو متراً	٨	مشاهدة جلية جداً
أكثر من ٥٠ كيلو متراً	٩	صفاء نادر

انواع الضباب :

اولاً : الضباب الناتج بفعل التبخر

١ - ضباب البخار *Steam Fog* :

يحدث هذا النوع من الضباب عندما يتعرض هواء بارد نسبياً لفعل التبخر، حيث يتشبع الهواء ببخار الماء وترتفع الرطوبة النسبية ويتعرض بخار الماء للتكاثف ويتكون الضباب. وقد يحدث ضباب البخار أحياناً فى المناطق المدارية الرطبة فبعد سقوط الأمطار أثناء عواصف الرعد والبرق فى العروض المدارية، يبرد الهواء الملامس لسطح الأرض فى نفس الوقت الذى يستمر فيه تبخر الماء عن طريق التربة والمسطحات المائية والنتح من النباتات ومن ثم يصعد بخار الماء الى أعلى ويتجمد عند الهواء البارد والذى يساعده على التكاثف وتكوين ضباب البخار. ويعد هذا النوع من الضباب أكثر شيوعاً فوق المسطحات المائية المعتدلة والعليا ويعرف هنا باسم الدخان القطبى *Artic Smoke* وعند حدوثه فوق أسطح مياه المحيطات فيعرف باسم دخان البحر *Sea Smoke*.

٢ - ضباب الجبهات **Frontal Fog** :

يرتبط هذا النوع من الضباب مع مناطق تكوين الجبهات عند تقابل كتل هوائية غير متجانسة الخصائص الطبيعية، ومن ثم قد يحدث هذا الضباب فى المناطق المدارية وكذلك فى المناطق المعتدلة الباردة.

ثانياً: الضباب الناتج بفعل تبريد الهواء

١ - الضباب الأرضى أو ضباب الإشعاع :

Radiation or Ground Fog

يعد هذا النوع من الضباب أكثر أنواعه شيوعاً فوق سطح الأرض، وينتج بصورة مباشرة تبعاً لفقدان سطح الأرض حرارته بالإشعاع ومن ثم يبرد الهواء الذى يعلو سطح الأرض بفعل التوصيل الحرارى *Conduction* ويزداد تكوين ضباب الإشعاع فى حالتين هما [1] :

أ - عندما يقع الهواء تحت غطاء من السحب، ويحبذ سقوط قطرات من المطر فوقه، وذلك قبل حدوث ضباب الإشعاع بيوم واحد.

ب - عندما يتعرض الهواء الملامس لأسطح البحيرات للبرودة الشديدة ثم يتجمع فى منخفضات الأحواض النهرية تبعاً لثقله.

وقد يحدث ضباب الإشعاع أثناء الليل بمساعدة عدة عوامل منها :

أ - حدوث إنقلاب حرارى عند سطح الأرض *inversion temperature* .

ب - عندما تكون حركة الهواء طفيفة *Slight* وينبغى ألا يكون الهواء ساكناً تماماً.

جـ - خلو السماء من السحب، حيث تعمل السحب على إمتصاص كمية كبيرة من الإشعاع الأرضى وتعكسها مرة أخرى الى سطح الأرض (الذى يمتص هو الآخر معظمها) ويقلل ذلك من فقدان الأرض لحرارتها.

---

(1) Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate", N. Y. (1954), p. 120.

وتساعد الجاذبية الأرضية *Gravitation* تكوين ضباب الإشعاع، ومن ثم يتركز هذا النوع من الضباب فى الأحواض والأودية النهرية حيث يتجمع هنا الهواء البارد الأثقل وزناً. هذا ويلاحظ أن ضباب الإشعاع يتميز بحدوثه خلال وقت قصير حيث يمتد من نهاية الليل حتى بداية ظهور قرص الشمس.

وينتمى ضباب المدن *Town Fog* الى نوع ضباب الإشعاع، فعندما يفقد سطح الأرض (حول المدن الكبيرة الحجم) جزءاً من حرارته بفعل الإشعاع، ويبرد الهواء الملامس لسطح الأرض أثناء الليل والصباح الباكر يتكاثف الهواء البارد حول نوايات التكاثف التى تتمثل فى الشوائب والغبار والرماد ودخان المصانع المنتشرة فى هواء هذه المدن. ومن أمثلة ذلك ضباب مدينة لندن *London Fog* الذى يتميز بزيادة كثافته وثقله وبلونه الأسود الباهت. وضباب المدن الصناعية الأخرى مثل شيفيلد وبرمنجهام فى إنجلترا وترتفع نسبة ثانى أكسيد الكربون وأكسيد الكبريت بهذا الهواء الملوث وكذلك ضباب المدن الصناعية الكبرى فى الولايات المتحدة الأمريكية مثل بيتزبرج وديترويت وكليفلاند.

٢ - ضباب التأفق الهوائى فوق الأسطح الباردة :

Advection Fog

يتكون هذا النوع من الضباب بسبب الإنتقال الأفقى للهواء الدافىء الى أسطح باردة وخاصة فوق المسطحات المائية الباردة (سواء فوق البحار أو المحيطات أو البحيرات الكبرى). ويعزى السبب الرئيسى فى تكوين ضباب الأسطح الباردة الى فقدان هذه الأسطح لحرارتها بفعل الإشعاع وإلى إختلاف درجات حرارة الهواء المتجاور.

٣ - ضباب المنحدرات الجبلية العليا *Upslope Fog* :

يتكون هذا النوع من الضباب نتيجة لصعود الهواء الرطب أعالى المنحدرات الجبلية (أى الصعود التضاريسى *Orographic ascension*) التى

تواجه تقدمه، ويضطر الهواء صعود القمم الجبلية ويتعرض هنا للتبريد الذاتى *Adiabatic Cooling*، ويتكاثف بخار الماء على شكل ضباب يغطى القمم الجبلية والمنحدرات العليا للمرتفعات، وإذا كان صعود الهواء يحدث بسرعة أو تعرض لاضطرابات جوية، فقد تتكون السحب الطبقية المنخفضة *Low Stratus Clouds*. وينتشر ضباب المنحدرات الجبلية العليا فوق منحدرات مرتفعات الروكى، حيث تختفى معالم هذه المنحدرات داخل الضباب الجبلى الكثيف. كما يحدث هذا النوع من الضباب بكثرة فى ولاية وايومنج وعلى سفوح مرتفعات شايان، بالولايات المتحدة الأمريكية، وومن ثم يعرف محلياً هنا باسم (ضباب شايان) *Chayenne Fog*.

٤ - الضباب المختلط النشأة *Mixing Fog* :

يتكون هذا النوع من الضباب بفعل عدة عوامل مختلفة، تساعد كلها مجتمع على حدوثه. على سبيل المثال عندما يمتزج هواء دافىء رطب بآخر درجة حرارة الهواء الى ما دون نقطة الندى، وحدوث التكاثف وتكوين الضباب، وقد يساهم هنا تأثير حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض كعامل ثالث إضافى فى تكوين هذا النوع من الضباب المختلط النشأة.

٥ - ضباب الضغط الجوى *Barometric Fog* :

يعد هذا النوع من الضباب نادر الحدوث، ويعزى تكوينه الى التوزيع الجغرافى العام للضغط الجوى فوق منطقة تتعرض طبقات الهواء الرطب الملامس لسطح الأرض عندها الى إنخفاض فى مقدار الضغط الجوى لأى سبب ما. وينتج عن ذلك حدوث تبريد ذاتى للهواء ربما يؤدى بدوره الى حدوث التكاثف وتكوين الضباب ويحدث هذا النوع من الضباب فى الأحواض والأودية النهرية التى يتجمع فيها هواء شبه ثابت غير متجدد (١).

---

(1) Howard, J. Crtchfield, "General Climatology" N. J. (1966), p. 59.

ثانياً : بعض مظاهر التكاثف
فى الهواء المرتفع عن سطح الأرض
(البرد والثلج والسحب والأمطار)

عندما يزداد بخار الماء فى الهواء المرتفع عن سطح الأرض ويصل الى درجة التشبع (أى الرطوبة النسبية ١٠٠٪) يتعرض هذا الهواء المرتفع لعمليات التكاثف *Condensation* ، وقد يتجمد بخار الماء مباشرة الى ثلج دون إنتقاله الى الحالة السائلة بفعل التسام *Sublimation* وينتج عن ذلك تكوين عدة ظاهرات جوية منها البرد *Hails* والثلج *Snow* والسحب *Clouds* والأمطار *Rainfalls* ويلاحظ أن كلاً من البرد والثلج والأمطار يمكن أن تسقط على سطح الأرض ويطلق على سقوطها مجتمعة تعبير «التساقط *Precipitation*». وإذا كانت السحب لا تسقط على سطح الأرض إلا أن الرطوبة الممثلة فيها تعد من أهم مصادر التساقط بأنواعه المختلفة [1].

١ - البَرَد *Hail* :

يتركب البرد من حبات مستديرة من الثلج *Lumps of ice* وتتألف الحبة الواحدة من عدة طبقات ثلجية متراكبة بعضها فوق البعض الآخر مثل تركيب البصلة . ولا يظهر ثلج البرد بالصورة المألوفة عن الثلج أى على شكل القطن المندوف بل يكون هنا شديد التجمد وعلى شكل حبات ثلجية متسديرة صلبة ويطلق عليه اسم «حجر البرد» *Hail Stones* ، ويختلف قطر حبة البرد من ٠,٢ الى ٢ بوصة (٠,٥ الى ٥ سم) وينتج عن سقوطه أضرار بالغة للمحاصيل

---

(1) Riehl, H., "Introduction to the atmosphere", Mc Graw-Hill, N. Y. (1972), p.92.

الزراعية. وترتبط نشأة البرد بحركة التيارات الهوائية الصاعدة وبالمناطق التى تتعرض لصعود الهواء بشدة جداً[١] . *Extremely strong uprafts of air*. ومن ثم يزداد حدوث البرد فى مناطق تكوين سحب المزن الركامى.

٢ - الثلج ***Snow*** :

يعد الثلج مظهراً من مظاهر التكاثف نتيجة لتجمد بخار الماء فى طبقات الجو العليا، وظهوره على شكل جسم صلب *Solid*، ولا يحـدث ذلك إلا إذا انخفضت درجة حرارة الهواء الى أقل من درجة التجمد. ويمكن للثلج أن يتكون إذا ما تعرض رزاز الماء فى السحب للتجمد كما قد يتكون الثلج بصورة مباشرة عن طريق عملية التسام *Sublimation*. وقد تختلط بلورات الثلج أحياناً بماء المطر، أو قد تتعرض قطرات المطر عند سقوطها فى المناطق الباردة الى التجمد، ويطلق على الثلج أو المطر المتجمد جزئياً إسم قَطقط، *Sleet*[٢].

ويتكون الثلج عند بداية سقوطه على سطح الأرض من قشور هشة خفيفة الوزن، وتتطاير فى الجو كالقطن المندوف، ولكن عند تجمع الثلج بعضه فوق البعض الآخر يتعرض بدوره للإنضغاط، ويتماسك بشدة ويصبح شديد الصلابة وتبدو أسطحه كأسطح الزجاج وهنا يعرف باسم جليد[٣] *Ice* خاصة إذا لم يتعرض الثلج للذوبان (الإنصهار).

ويتركب الثلج من بلورات سداسية الأوجه ومسطحة أو مبططة الشكل، ومع ذلك فإن لها أشكال هندسية متعددة رائعة[٤].

---

(1) Strahler, A.N., "Introduction to physical geography", Clumbia Univ. Press (1969), p. 98.

(2) Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate", N.Y. (1954), p. 136.

(٣) ومن ثم سمى العصر الذى تجمع فيه الجليد على سطح الأرض دون أن يتعرض قسم كبير منه للإنصهار باسم العصر الجليدى Ice Age ويتفادى الإنسان السير فوق أسطح الجليد الزجاجية المظهر حتى يتجنب الإنزلاق والسقوط على سطح الأرض.

(٤) يمكن مشاهدة أشكال البلورات الثلجية المتنوعة عند فحص قشور الثلج تحت عدسة مكبرة.

أما خط الثلج الدائم *Snow-Line* فهو الحد الذى لا ينصهر عنده الثلج الساقط على سطح الأرض طوال أيام السنة (أى الحد الأدنى للقمم الجبلية الثلجية الدائمة *Ice Capes*) ويختلف إرتفاع خط الثلج الدائم من مكان الى آخر تبعاً لبعد دوائر العرض المختلفة عن الدائرة الإستوائية. ويلاحظ أن خط الثلج الدائم يقع عند مستويات يتناقص منسوبها فى إتجاه القطبين. ويتمثل خط الثلج الدائم فى النرويج عند دائرة عرض ٦٨° شمالاً على إرتفاع ٣٥٠٠ قدم، بينما يوجد هذا الخط فوق جبل كليمنجارو *Kilimanjaro* (عند دائرة عرض ٣° جنوب خط الإستواء، بشرق أفريقيا) على إرتفاع ١٨٤٠٠ قدم، ولا يتوقف إرتفاع خط الثلج الدائم على مدى الإختلاف فى إرتفاع المكان وموقعه فقط بل كذلك على مدى ما يسقط من ثلج فوق هذا المكان أثناء الفصل الشتوى، وبحيث أن لا يتعرض هذا الثلج أو القسم الأكبر منه للانصهار خلال الفصل الصيفى الدفىء.

٣ - السحب *Clouds* :

تعد السحب المصدر الرئيسى لبخار الماء اللازم لعمليات التكاثف التى تحدث خاصة فى الهواء العلوى، كما أنها تنظم عمليات سقوط الإشعاع الشمسى عند نفاذه الى سطح الأرض. وتحد السحب من تشتت الإشعاع الأرضى وإنتشاره الى أعلى، وتحفظه الى أسفل منها ليرفع من درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض. كما تعد السحب بالنسبة للراصد الجوى مؤشراً هاماً لحالات الطقس المتغير *Indicators of weather condition*. والسحب مظهر من مظاهر التكاثف التى تحدث فى الهواء الصاعد المحمل ببخار الماء الى أعلى فى طبقات الجو العليا، وإن كان بعض أنواع السحب تتكون بالقرب من سطح الأرض وذلك مثل مجموعة السحب الطبقية المنخفضة *Low Stratus*. ويمكن تشبيه مكونات السحب بمجموعاتها المختلفة بمكونات الضباب الكثيف، إلا أنها تتكون أساساً فى طبقات الجو العليا (١).

---

(1) Douglas, A. C "Clouds reading for pilots", London (1964), p.27.

ويلاحظ أن السحب التى تتكون بفعل صعود الهواء الى أعلى بسرعة، تنمو رأسياً وتتمدد الى أعلى وتبدو منفوشة المظهر *puffy appearance*، فى حين أن تلك السحب التى تتكون بفعل صعود الهواء الى أعلى ببطء، أو تبعاً لتبريد الهواء فيغلب عليها الانتشار فى شكل طبقات *layers* . وتتركب السحب من الهواء المشبع ببخار الماء والذى تعرض بدوره لعمليات التكاثف *Condensation* والتسام *Sublimation* وتتكون من قطرات صغيرة الحجم من المياه ومن بلورات خفيفة من الثلج. كما أن كلاً من مجموعات السحب المختلفة لا تستقر فى مواقع نشأتها بل قد تتحرك كل منها إما رأسياً من أعلى الى أسفل أو العكس، وإما أفقياً من مكان الى آخر فى الغلاف الجوى وذلك بفعل التغيرات الحرارية التى تتعرض لها السحب من عمليات التمدد الهوائى إذا ما ارتفعت حرارة الهواء، ولعمليات الهبوط والإنضغاط والتكاثف إذا ما انخفضت درجة حرارة الهواء. هذا الى جانب تأثير بعض العوامل الأخرى فى تحرك السحب وفى مراحل تطور نموها بأشكالها المختلفة، وخاصة أثر تحرك الكتل الهوائية المختلفة الخصائص الطبيعية وإتجاهات الرياح وهبوب الأعاصير والإنخفضات الجوية، وقد تحجز السحب أشعة الشمس وتسبب حدوث الغيوم (١) .

وقد إتفق المتيورولوجيون على تمييز أربع حالات رئيسية من مظهر السماء وفقاً لمدى تغطيتها بالسحب وتتلخص فيما يلى :

أ - السماء الصافية *Clear*، حيث لا تغطى السحب أكثر من ٠,١ من السماء.

---

(١) يكون مقدار الضوء فى اليوم المغيم نحو ١/٦٠ من الضوء فى النهار الصافى تماماً، وقد تبقى الغيوم ساعة فى الجو ولا تقترب الى سطح الأرض (بفعل الجاذبية) نتيجة لتأثرها بدفع الهواء الصاعد لها. أما إذا توقفت حركة الهواء الصاعد فإن الغيوم تأخذ فى الهبوط وربما تتعرض للتبخر وقد تختفى بسرعة، بينما تكون بعض النقط المائية لا تزال فى طريقها الى سطح الأرض وتصلها بعد إختفاء الغيوم، وينجم عن هذه الظاهرة تكوين ما يسمى بمطر السماء الزرقاء، حيث تسقط نقاط الأمطار فى جو صحو تماماً. راجع محمود حامد محمد، «المتيورولوجية، القاهرة (١٩٤٦) ص ٢٤٠ .

ب - سماء السحب المبعثرة *Scattered* ، ويتراوح غطاء السحب من ٠,١ الى ٠,٥ من السماء.

جـ - سماء السحب المتقطعة *Broken* ويتراوح غطاء السحب من ٠,٥ الى ٠,٩ .

د - السماء الملبدة *Over Cast* وتغطى السحب أكثر من ٠,٩ من السماء.

وتتوقف دقة الملاحظات الخاصة بمدى تغطية السحب للسماء على خبرة الراصد الجوى [1]. توضح مقدار تغطية السحب للسماء على خرائط الطقس باستخدام رموز مختلفة يتمثل فى الجدول التالى (شكل ٨٦).

الرمز	الرقم	كمية السحب	الرمز	الرقم	كمية السحب
	صفر	لا توجد سحب والسماء صافية.		٥	٦/١٠
	١	١/١٠ من السماء.		٦	٧/١٠ ، ٨/١٠
	٢	٢/١٠ ، ٣/١٠		٧	٩/١٠
	٣	٤/١٠		٨	السماء مغطاة تماما بالسحب.
	٤	٥/١٠		٩	السماء معتمة بشدة.

(شكل ٨٦) الرموز المستخدمة فى خرائط الطقس لتوضيح مدى تغطية السماء بكمية السحب

(1) Howard, J. Critchfield, "General Climatology", N. J. (1966), p. 54.

أنواع السحب *Cloud Types*

إتفق المتيورولوجيون [١] على تصنيف السحب الى أربع مجموعات متنوعة على أساس إختلاف إرتفاعها بالنسبة لسطح الأرض، وتنقسم كل مجموعة منها الى عدة أنواع ثانوية (يبلغ عددها فى مجموعات السحب المختلفة عشرة أنواع) بحسب إختلاف أشكالها وخصائصها العامة وظروف نشأتها وتتلخص هذه المجموعات فيما يلى :

١ - السحب المرتفعة :

ويتراوح إرتفاعها من ٢٠,٠٠٠ الى ٣٥,٠٠٠ قدم وتشمل :

أ - سحب السمحاق *Cirrus Ci*

ب - سحب السمحاق الطبقى *Cirrostratus Cs*

جـ - سحب السمحاق الركامى *Cirrocumulus Cc*

٢ - السحب المتوسطة الإرتفاع :

ويتراوح إرتفاعها من ٦٥٠٠ الى ٢٠,٠٠٠ قدم وتشمل :

أ - سحب الطبقى المتوسط الإرتفاع *Altostratus As*

ب - السحب الركامية المتوسطة الإرتفاع *Altocumulust Ac.*

---

(1) a- Howard, J. Critchfield, "General Climatology", N. K. (1966), p. 47.
b - Blair, T. A., "Weather Elements", Prentice-Hall, N. J., (1959), p. 55.
c - Trewartha, G. T. "An Introduction to Climate", Mc Graw-Hill, N.Y. (1954), P. 132.
d - Douglas, A. C., "Clouds reading for pilots", London, (1946), pp.1-119.

ويعد هذا الكتاب الأخير من بين أهم المراجع التى تناولت دراسة السحب، كما أنه يحتوى على ١٦٤ صورة لأنواع السحب المختلفة.

٣ – السحب المنخفضة :

قد تحدث بالقرب من سطح الأرض وحتى إرتفاع ٦٥٠٠ قدم وتشمل :

أ – السحب الطبقية الركامية *Srtatocumulus Sc*

ب – السحب الطبقية *Stratus St*

جـ – سحب المزن الطبقى *Nimbostratus Ns*

٤ – سحب تنمو رأسياً على إرتفاعات مختلفة :

يتراوح إرتفاعها من ١٦٠٠ قدم من سطح الأرض وقد تمتد أعاليها رأسياً حتى مناطق نشوء سحب السمحاق العالية عند إرتفاع ٢٥ ألف قدم وتشمل :

أ – سحب الركامية *Culmulus Cu*

ب – سحب المزن الركامى *Cumulonimbus Cn*

ويقسم بعض الكتاب هذه الأنواع العشرة السابقة الذكر من السحب الى فصائل ثانوية بحسب إختلاف شكل السحب، والذى إن دل هذا على شيء فإنما يدل على كيفية نشوء السحب ومراحل نموها المختلفة. ومن بين أهم الأشكال التى تبدو بها فصائل السحب هى الأشكال الوبرية والليفية *Fibratus* والفوجية أو السربية *Floccus* والطبقية *Stratiformis* والعدسية *Lenticulairs* والدخانية السديمية *Nebulosus* والشعرية *Capillatus*.

٤ – المطر *Rainfall* :

ساعدت محطات الأرصاد الجوية المنتشرة فى مناطق متفرقة من أنحاء العالم على وفرة المعلومات الخاصة بكميات الأمطار اليومية والفصلية والسنوية الساقطة لأى مكان ما على سطح الأرض. ويبلغ عدد محطات الأرصاد الجوية التى تقوم برصد وتسجيل كميات الأمطار الساقطة فوق أراضى الولايات المتحدة الأمريكية نحو ١٣,٠٠٠ محطة. وتقاس كمية

الأمطار الساقطة فى معظم محطات الأرصاد الجوية العالمية بإستخدام أنواع متعددة من الأدوات من بين أهمها الوعاء القياسى للمطر *Standard rain gauge*.

وبإستخدام أدوات قياس المطر وتسجيله أصبح من السهل حساب كمية الأمطار الساقطة يومياً لأى مكان على سطح الأرض (بالبوصات أو السنتيمترات). وعلى ذلك يمكن أيضاً حساب كمية الأمطار الشهرية الساقطة فى مكان ما وعدد الأيام الممطرة خلال الشهر، وكذلك حساب كمية الأمطار الساقطة سنوياً فوق هذا المكان. وبإستخدام المتوسطات الحسابية *Arithmetic mean* يمكن حساب المعدل الشهرى أو المعدل السنوى لكمية الأمطار الساقطة فوق أى جزء من سطح الأرض. (خلال أشهر معينة مختارة، وخلال سنوات رصدمعينة).

ويمكن أن يوضح الإختلاف فى كميات الأمطار الشهرية الساقطة خلال سنة معينة فى مكان ما عن طريق إستخدام الأعمدة البيانية (حيث يمثل كل عمود كمية الأمطار الشهرية الساقطة فى هذا المكان). ويمكن أن تظهر هذه الإختلافات فى كميات الأمطار الساقطة عن طريق إنشاء خطوط المطر المتساوى *Isohyets* وهى الخطوط التى تصل بين المراكز التى تتساوى كمية الأمطار عندها (سواء أكانت كميات يومية أو شهرية أو سنوية) (١).

وتحسب كثافة المطر *Intensity of rainfall* على أساس مجموع كمية الأمطار الساقطة خلال موسم معين، مقسوماً على عدد الساعات التى سقط المطر خلالها فوق هذا المكان خلال هذا الموسم.

نشأة الأمطار :

يحدث أحياناً أن يرتفع الهواء الرطب الصاعد فى الجو الى ما فوق مستوى التكاثف *Condensation Level* وقد يؤدى ذلك الى تكوين السحب

---

(١) د. فهمى هلالى أبو العطا ،الطقس والمناخ، الاسكندرية ص ٧٢.

فى نفس الوقت الذى لا تسقط فيه الأمطار. وقد سبقت الإشارة من قبل الى أن عملية التكاثف لا ترتبط فقط بضرورة إرتفاع الرطوبة النسبية فى الهواء الى ١٠٠ ٪ ولكن ينبغى أن تتوفر فى هذا الهواء نوايات التكاثف المجهرية. والسحب ما هى إلا كتلاً متجمعة من بخار الماء وتسبح معلقة فى الهواء (١).

وطالما أن قطيرات الماء فى السحب لم تزد فى وزنها، فإنها لا تتعرض للتساقط وتظل مستقرة ومعلقة فى الهواء. أما إذا كبر حجم قطيرات الماء وزاد وزنها تبعاً لتجمعها حول نوايات التكاثف المجهرية فى الهواء، فيصبح من الصعب أن يحملها الهواء وتتعرض فى هذه الحالة للسقوط وقد تصل الى سطح الأرض على شكل مطر.

ولما كانت قطيرات الماء تختلف فيما بينها من حيث الحجم، فإن سرعة سقوطها من أعلى الى أسفل تختلف من حالة الى أخرى، ويصل قطر أكبر قطرة ماء حجماً فى الهواء العلوى نحو ٥ ملم،. وهنا تكون سرعة هبوط هذه القطرة المائية نحو ١٨ ميلاً فى الساعة، أما إذا كان حجم قطيرات الماء فى الهواء أقل من ذلك، فتقل سرعة هبوطها فى الهواء، أو بمعنى آخر تتناسب سرعة قطرات ماء الأمطار فى الهواء (عند نزولها الى سطح الأرض) تناسباً طردياً مع حجمها.

وتمثل الأمطار الساقطة على سطح الأرض وما يصاحبها من حدوث الأنواع الأخرى من تساقط الثلج والبرد المصدر الرئيسى للمياه التى هى أساس حياة الإنسان والكائنات الحية على سطح الأرض. وتتوقف كمية الأمطار الساقطة على كمية المياه المفقودة بالتبخر من المسطحات المائية المختلفة كما تبين بأن كمية الأمطار الساقطة فوق المسطحات المائية (تبعاً لإتساع مساحتها) أكبر بكثير من تلك الساقطة فوق اليابس. ومن دراسة الميزانية

(1) a - Gressewll, P. K., "Physical Geography", Longman. 4th edi, (1972), p. 30.

b - Trewartha, G. T., "An Introduction to climate", N. Y. (1954), p. 134.

المائية العامة لكوكب الأرض يتضح أن الفاقد السنوى من مياه البحار والمحيطات عن طريق التبخر ٠,٣٦ × ١٠^١٤ م^٣ / السنة يعادل المكتسب السنوى من مياه الأمطار والتساقط الهاطل على سطح الأرض كما يتضح فى البيان التالى :

الميزانية المائية العامة لكوكب الأرض (١)

	م^٣ / السنة	جالون / السنة
– كمية التساقط فوق البحار والمحيطات	٣,٢٤ × ١٠^١٤	٨٥,٥ × ١٠^١٥
– كمية التبخر من مياه البحر والمحيطات	٣,٦٠ × ١٠^١٤	٩٥,٢ × ١٠^١٥
– الفاقد من مياه البحر سنوياً	-٠,٣٦ × ١٠^١٤	-٩,٧ × ١٠^١٥
– كمية التساقط فوق اليابس	٠,٩٨ × ١٠^١٤	٢٦,١ × ١٠^١٥
– كمية التبخر من سطح اليابس	٠,٦٢ × ١٠^١٤	١٦,٤ × ١٠^١٥
– المكتسب من سطح اليابس	+٠,٣٦ × ١٠^١٤	+٩,٧ × ١٠^١٥

ونظراً لتزايد حاجة الإنسان لكميات إضافية من المياه لتغطية حاجات ومتطلبات الإرتفاع المستمر فى إعداد البشر سنوياً على سطح الأرض، ولتوفير المياه اللازمة لمشروعاته الزراعية والصناعية. تسعى كثير من دول العالم الى إجراء تجارب متعددة للإستمطار أو لإسقاط المطر إصطناعياً.

(1) Moran, J. M. and Morgan, M. S. "Meteorology" N. Y. (1991), p. 129.

انــــواع الأمطــار

تختلف أنواع الأمطار تبعاً للطرق المتنوعة التى تؤدى الى صعود الهواء الدافىء الرطب الى أعلى *Air ascent*، ثم تعرض هذا الهواء للبرودة والتكاثف فى طبقات الجو العليا، وسقوطه على شكل مطر. ويمكن أن نميز ثلاث عمليات رئيسية مختلفة تؤدى الى صعود الهواء ومن ثم ميز الباحثون ثلاثة أنواع (١) مختلفة من الأمطار تتلخص فيما يلى :

أ - الأمطار الإنقلابية أو أمطار تيارات الحمل الصاعدة :
Convectional Rainfalls

يسخن الهواء الملامس لسطح الأرض فى المناطق المرتفعة الحرارة ويصعد الى أعلى ويحل محله وأسفل منه هواء أبرد نسبياً، ويستمر الهواء فى صعوده الى أعلى عدة آلاف من الأقدام الى حين أن تتشابه درجة حرارته مع درجة حرارة الهواء الآخر العلوى الذى يحيط به فى الطبقات العليا من التروبوسفير، ويظل الهواء مستمراً فى عمليات صعوده الى أعلى طالما أن درجة حرارته بقيت مرتفعة وكان الهواء قابلاً للتمدد، أما إذا إنخفضت درجة حرارة الهواء فى طبقات الجو العليا عن نقطة الندى بأى عامل ما، فقد تتكون سحب كثيفة من نوع المزن الركامى. وفى حالة توفر نوايات التكاثف تتكون قطرات الماء الكبيرة الحجم وتتعرض الأخيرة للسقوط على شكل أمطار إنقلابية، ويترتبط صعود الهواء الى أعلى بإرتفاع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض خاصة أثناء النهار فى العروض المدارية.

وتسقط الأمطار الإنقلابية بغزارة شديدة فى مناطق الرهو الإستوائى

---

(1) Strahler, A. V., "Introduction to Physical Geography" Wiley, N. Y (1969), p. 98-99.

وغالباً ما يكون سقوطها خلال فترة ما بعد الظهيرة. وتسقط هذه الأمطار الإنقلابية هنا طوال أيام السنة بفعل استمرار عمليات الصعود اليومى للهواء الى أعلى. وتزداد كمية الأمطار الإنقلابية الساقطة فى مناطق الرهو الإستوائى خلال فترة الإعتدالين (عندما تكون الشمس عمودية على الدائرة الإستوائية) وينتج عن هذه الأمطار الساقطة اليومية الغزيرة إرتفاع منسوب مياه المجارى النهرية وحدوث الفيضانات وتكوين المستنقعات. أما فى مناطق العروض الوسطى والعليا فإن الأمطار الرنقلابية التى قد تحدث هنا، ترتبط بالفصل الدفىء من السنة، حيث يسخن اليابس بشدة ويصعد الهواء الملامس له الى أعلى، وقد يتعرض للبرودة والتكاثف عند وصوله للطبقات العليا من الهواء. وللأمطار الإنقلابية الصيفية فى مثل هذه المناطق أهمية كبيرة بالنسبة لنمو النباتات.

ب - الأمطار التضاريسية *Orographic Rainfalls* :

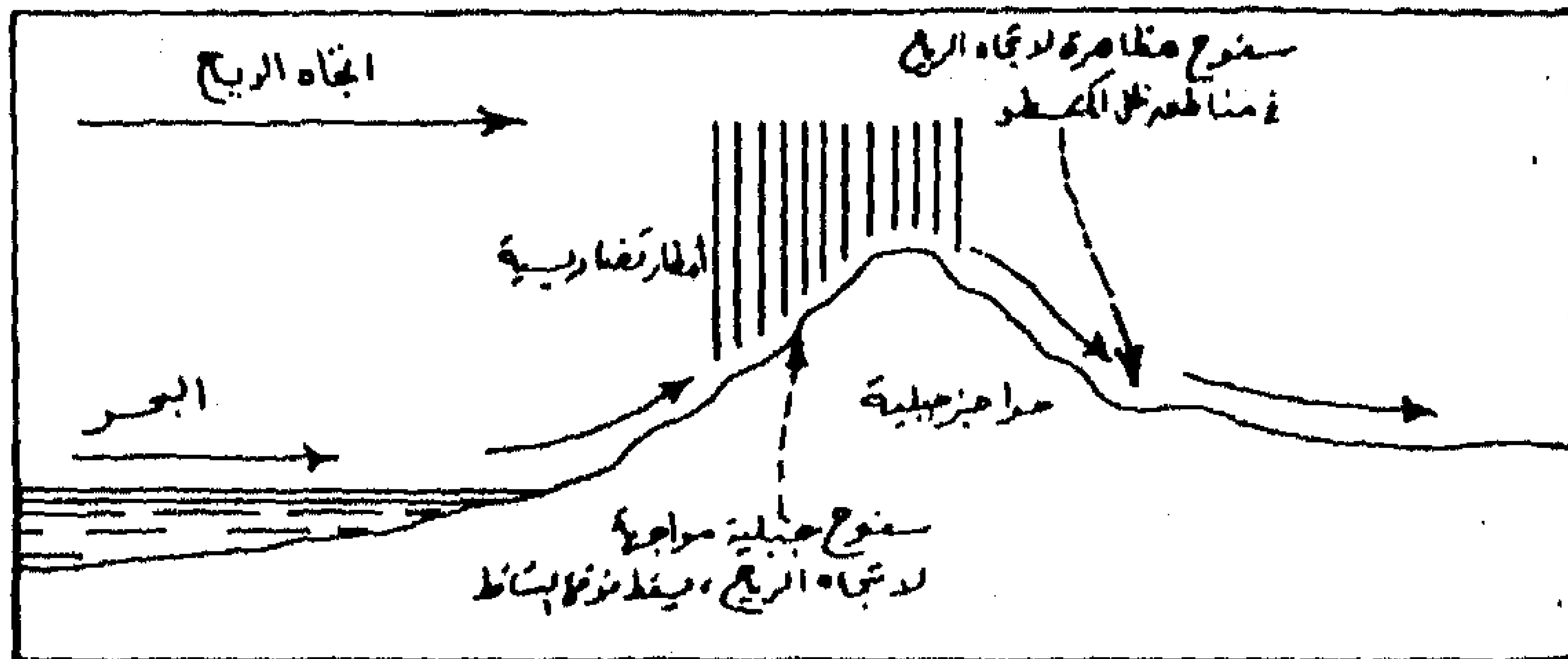
قد يضطر الهواء الدفىء المحمل بالرطوبة عندما يصطدم بحواجز جبلية عالية أن يصعد الى أعالى القمم الجبلية لعبورها، وأثناء صعود الهواء لهذه المنحدرات الجبلية تنخفض درجة حرارته ذاتياً وقد تقل درجة الحرارة هنا عن نقطة الندى ومن ثم يتعرض بخار الماء فى هذا الهواء لعمليات التكاثف وسقوط الأمطار. وحيث أن بخار الماء يرتبط أساساً بالطبقات السفلى من الهواء وتقل نسبته مع الإرتفاع الى أعلى عن سطح الأرض فإن الأمطار تسقط بكميات غزيرة فوق السفوح الجبلية المواجهة للرياح الرطبة الدفيئة *Windward Slopes* كما هو الحال على السفوح الغربية لمرتفعات الروكى المواجهة للرياح العكسية الغربية شتاءً، والسفوح الغربية لمرتفعات لبنان الغربية المواجهة للرياح العكسية الغربية شتاءً. والسفوح الشرقية لمرتفعات جنوب شرق البرازيل المواجهة للرياح التجارية الجنوبية الشرقية. أما الجوانب المظاهرة لإتجاه الرياح *Leeward Slopes* من هذه السلاسل الجبلية فتنساب إليها الرياح جافة حيث تكون قد أسقطت حمولتها من بخار الماء على الجانب

الآخر من هذه الجبال. ويطلق على هذه السفوح الجبلية المظاهرة لإتجاه الرياح اسم مناطق ظل المطر *Rain Shadow* ونتيجة لهبوط الريـاح من القمم الجبلية الى ما تحت أقدام المنحدرات الجبلية على الجوانب المظاهرة لإتجـاه الرياح ينضـغط الهـواء وترتفع درجـة حـرارته ذاتيـاً *Adiabatic Heating*، وينجم عن ذلك إرتفـاع درجـة حـرارة الهـواء الملامس لهـذه المنحدرات الجبلية [1] (شكل ٨٧).

جـ - الأمطار الإعصارية أو أمطار الجبهات :

Cyclonic or Frontal and Convergent Rainfalls

يتمثل هذا النوع من الأمطار مع الإنسياب الأفقى *Horizontal Flow* للكتل الهوائية المختلفة الخصائص الطبيعية، وبحيث يصاحب هذه الحركة الأفقية، حركة رأسية يصعد عن طريقها الهواء الساخن الى أعلى ولو بدرجات بسيطة. ومن ثم فإن أظهر مناطق نشوء الأمطار الإعصارية أو أمطار الجبهات تتمثل عند العروض شبه الإستوائية (فيما وراء مناطق الرهو



(شكل ٨٧) الأمطار التضاريسية

(1) Trewartha, G T "An Introduction to Climate N Y (1954), p 138

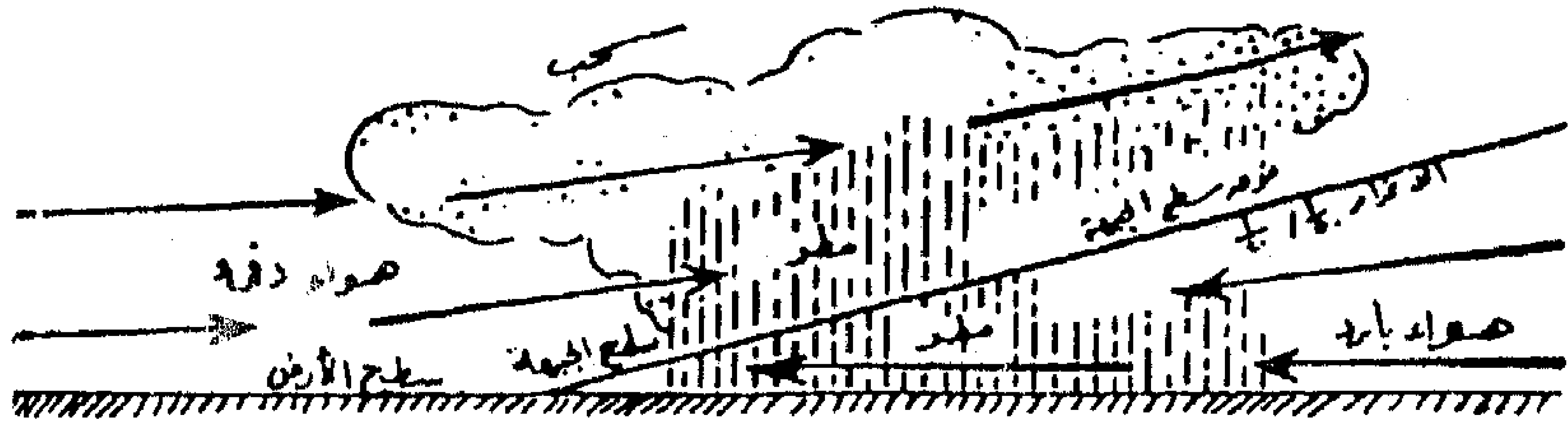
الإستوائى ذات الأمطار الإنقلابية) وكذلك عند مناطق الجبهات المدارية منها والمعتدلة حيث تعد جميعها «مناطق إلتقاء» *Convergent areas* تتلاقى عندها كتل هوائية دفيئة مع كتل أخرى أبرد منها (شكل ٨٨) .

العوامل التى تؤثر فى كمية الأمطار الساقطة وتوزيعها الجغرافى :

تتأثر كمية الأمطار الساقطة ومواسم سقوطها فوق أى مكان من سطح الأرض بعوامل متعددة، ويختلف مدى أثر كل من هذه العوامل من مكان الى آخر ومن فصل الى آخر بالنسبة للمكان الواحد، وتتلخص هذه العوامل فى الآتى :

١ - مواقع مناطق الجبهات *Frontal Zones* ومناطق تجمع الكتل الهوائية *Convergence* حيث يصعد الهواء الساخن الرطب فى إتجاه مائل الى أعلى ويرتكز فوق الهواء البارد ويتعرض للبرودة والتكاثف ومن ثم لعمليات التساقط سواء أكان ذلك فى المناطق المدارية أو فى المناطق المعتدلة.

٢ - مواقع المناطق الرهو الإستوائى *Doldrum* حيث يصعد الهواء رأسياً وبشدة الى أعلى تحت تأثير تيارات الحمل الصاعدة *Convectional* وعندما يتعرض الهواء الدفيء الرطب لعمليات البرودة فى الطبقات العليا من الهواء يتكاثف (عندما تقل درجة حرارة الهواء عن نقطة



(شكل ٨٨) نشأة الأمطار الإعصارية

الندى) وتسقط الأمطار الإنقلابية الغزيرة خاصة خلال فترة ما بعد الظهيرة فى المناطق الإستوائية كما سبقت الإشارة من قبل.

٣ – زيادة إتساع المسطحات المائية وإرتفاع درجة الهواء الملامس لها، مما يؤدى الى زيادة نسبة بخار الماء فى الهواء. وفى حالة هبوب الرياح من هذه المسطحات المائية متجهة نحو اليابس، ترتفع نسبة بخار الماء فيها، وتسقط الرياح ما تحمله من بخار ماء على شكل أمطار وثلوج إذا كان الهواء الملامس لسطح اليابس أبرد نسبياً من الهواء الملامس للمسطحات المائية المجاورة له، أو إذا إنخفضت درجة حرارة هواء هذه الرياح إنخفضاً ذاتياً (صعود المنحدرات الجبلية المواجهة لها).

٤ – مرور الرياح الآتية من المسطحات المائية فوق التيارات البحرية الدفيئة أو فوق كتل مائية سطحية دفيئة حيث تنتج عن ذلك إرتفاع نسبة بخار الماء فى الرياح وإحتمال سقوطها لأمطار غزيرة عند إنتقالها الى اليابس المجاور. فى حين تعمل التيارات البحرية وخاصة فى العروض المدارية على إنخفاض نسبة بخار الماء الممثل فى الهواء ومن ثم لا تساعد الرياح فى سقوط الأمطار. وعلى ذلك نلاحظ أن السواحل الغربية للصحارى الجافة يسير بجوارها تيارات بحرية باردة، كما هو الحال بالنسبة لتيار بيرو البارد الذى يسير موازياً للساحل الغربى لصحراء أتكاما (شمال شيلى) وتيار بنجويلا البارد الذى يسير موازياً لإتجاه الساحل الغربى للصحراء الأسترالية.

٥ – مواجهة الرياح الرطبة، عند هبوبها من المسطحات المائية الى اليابس المجاور، حافات جبلية عالية. وهنا تضطر الرياح صعود القمم الجبلية وتتعرض للتبريد الذاتى وللتكاثف وتسقط أمطاراً غزيرة فوق المنحدرات الجبلية المواجهة لها.

٦ – التوزيع الجغرافى الفصلى لمناطق الضغط الجوى، حيث أن هناك علاقة كبيرة بين عناصر المناخ المختلفة وخاصة بين الحرارة والضغط الجوى

والرياح والأمطار. فتتوزع مراكز الضغط الجوى المنخفضة منها والمرتفعة بحسب إختلاف درجة حرارة الهواء الملامس للمسطحات المائية واليابس. وتنقل الرياح من مراكز الضغط المرتفع الى مراكز الضغط المنخفض وتتوقف سرعتها على مقدار إنحدارات الضغط ومدى عمق الإنخفاضات الجوية، وقد تسقط الرياح عند إنتقالها من المسطحات المائية الى اليابس المجاور الأمطار إذا ما ساعدت العوامل المحلية على ذلك.

التوزيع الجغرافى لكمية الأمطار السنوية على سطح الأرض :

من دراسة خريطة توزيع الأمطار السنوية الساقطة فوق أجزاء سطح الأرض يتبين أن أغزر المناطق مطراً تتمثل فيما يلى :

١ - المناطق الإستوائية الإستوائية وشبه الإستوائية التى تتعرض لسقوط الأمطار الإنقلابية فى مناطق الرهو الدائم كما هو الحال بالنسبة لجزر الهند الشرقية وحوض الكنغو وساحل غانا ومعظم حوض الأمازون وتزيد كمية المطر السنوى هنا عن ٨٠ بوصة، ونلاحظ أن الأمطار تسقط فوق معظم هذه المناطق طول العام.

٢ - مناطق السهول الساحلية الشرقية فى العروض المدارية والتى تهب عليها الرياح خاصة بعد مرورها فوق المسطحات المحيطية الدفيئة وفوق التيارات البحرية الدفيئة.

٣ - مناطق السهول الساحلية الغربية بالعروض المعتدلة الباردة والتى تتعرض لهبوب الرياح العكسية الغربية والإنخفاضات الجوية التى تصاحبها، وتغزر كمية الأمطار الساقطة إذا ما تميزت هذه السواحل الغربية بالمظهر الجبلى، وتمتد فيها السلاسل الجبلية موازية لخط الساحل وعمودية على الإتجاه العام للرياح الغربية.

ومن دراسة خريطة التوزيع الجغرافى لكمية الأمطار السنوية الساقطة

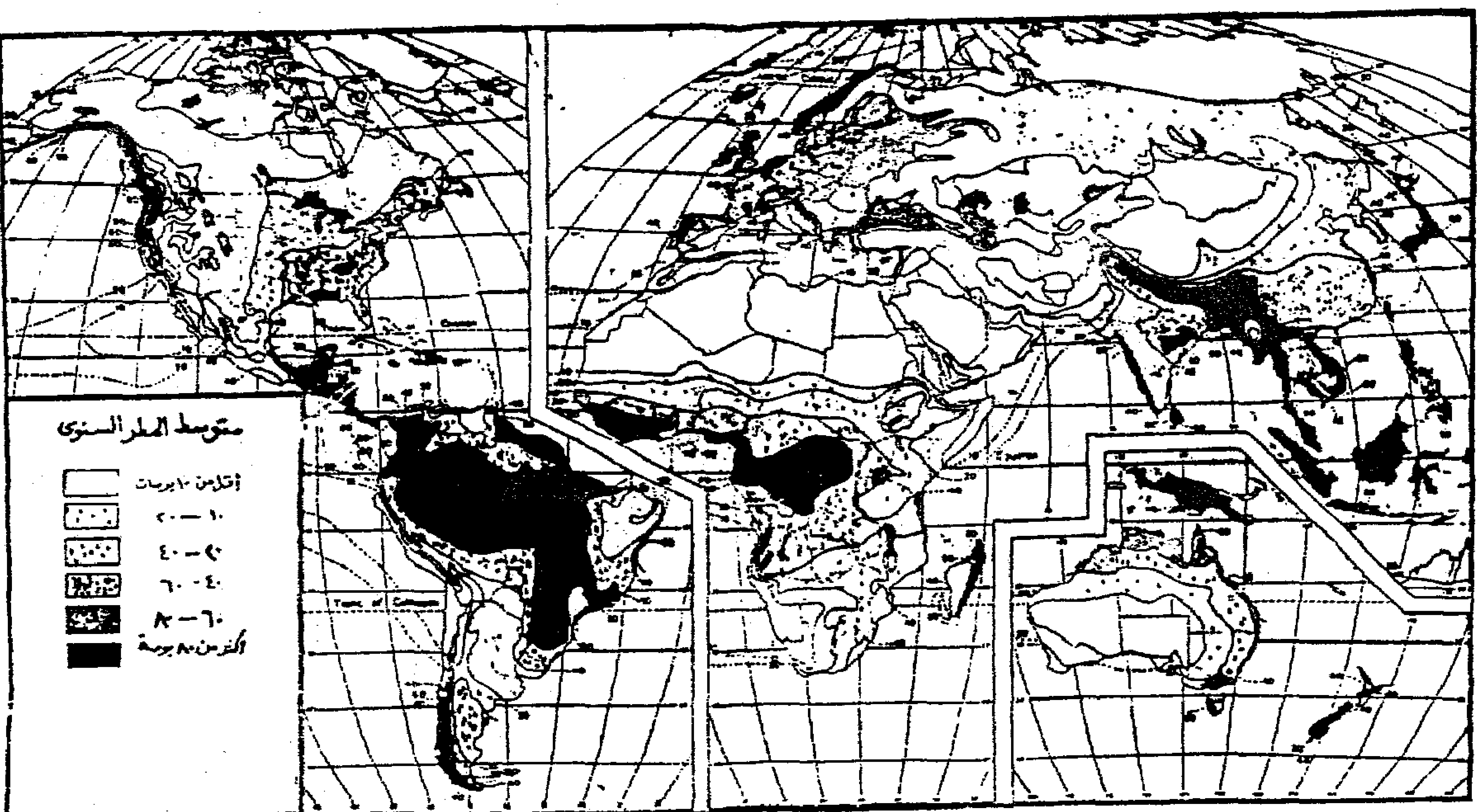
(شكل ٨٩) يتبين أن الصحارى الحارة الجافة فى العروض المدارية (الصحراء الكبرى فى أفريقيا وصحراء بلاد العرب فى آسيا وصحارى نيفادا وأريزونا وكلورادو وموجاف فى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية وصحراء غرب أستراليا وصحراء أتكاما فى شمال شيلى وكلهارى فى جنوب غرب أفريقيا) تعد جميعاً من أقل الأقاليم مطراً على سطح الأرض. وتقل كمية الأمطار هنا عن ١٠ بوصات فى السنة. وبعض مناطق واسعة منها وقد يمضى عليها عدة سنوات متعاقبة دون أن تسقط قطرة ماء واحدة من الأمطار فوقها. ويعزى الجفاف الشديد لهذه المناطق الى ما يلى :

أ - وقوع هذه الصحارى فى الأجزاء الغربية من العروض المدارية ومعنى ذلك أنها لا تتأثر بالرياح العكسية الغربية من جهة كما تصل الرياح التجارية أو الموسمية إليها جافة بعد أن تكون قد أسقطت ما تحمله من بخار ماء فى الأجزاء الشرقية من هذه العروض.

ب - تنساب التيارات البحرية الباردة مجاورة للسواحل الغربية لهذه الصحارى كما سبقت الإشارة من قبل، وتقلل هذه التيارات الباردة من نسبة الرطوبة بالهواء الملامس لها ونادراً ما تسقط هنا الأمطار، وإن كان حدوث الضباب شائعاً وهو الذى سرعان ما ينقشع عند بداية الصباح.

جـ - لا تساعد زيادة إرتفاع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض بهذه المناطق ـ هذا الى جانب ندرة وجود الغطاءات النباتية ـ على حدوث عمليات التكاثف فى الهواء الرطب الذى قد يمر فوقها، بل يتعرض هذا الهواء الرطب للتشتت والصعود الى أعلى.

ومن دراسة كمية الأمطار الشهرية الساقطة خلال أشهر السنة فوق أجزاء سطح الأرض. يمكن تمييز عدة نظم مختلفة للمطر تختلف خصائصها العامة من إقليم الى آخر. وتتلخص هذه النظم فيما يلى :



(شكل ٨٩) التوزيع الجغرافى لكمية المطر السنوى فى العالم

أ - النظام الإستوائى *Equatorial Regime* :

ويتمثل فى مناطق الرهو الإستوائى وتنحصر هذه المناطق فيما بين دائرتى عرض ٥° شمالاً وجنوباً وتسقط الأمطار هنا طول العام إلا أن أغزر الفترات مطراً تحدث خلال فترة الإعتدالين (الربيع والخريف) حيث تكون الشمس عمودية على الدائرة الإستوائية. ومن ثم تظهر قمتان فى أعمدة المطر خلال الفترة من إبريل الى يونيو والفترة الممتدة من بداية أكتوبر حتى نهاية نوفمبر. وتقل كمية الأمطار السنوية الساقطة عند أطراف هذه الأقاليم ومن ثم يتكون نظام المطر يمكن أن يطلق عليه نظام شبه الإستوائى.

ب - النظام المدارى الرطب *Tropical Wet Regime* :

يتمثل هذا النظام من المطر فى العروض المدارية فيما بين ٥° - ١٥° شمالاً وجنوباً بشرق القارات. وتسقط الأمطار هنا بغزارة بفعل الرياح التجارية والموسمية الشرقية. ويتمثل فيه فصل شبه جاف يمتد من مايو حتى شهر أغسطس بالنسبة للمناطق المدارية الرطبة فى نصف الكرة الجنوبى كما هو الحال فى شرق البرازيل، أما بالنسبة لهذا النظام فى نصف الكرة الشمالى فتسقط الأمطار بغزارة خلال فصل الصيف الشمالى ويتميز الشتاء بجفافه (١). ويعرف هذا النظام فى قارة أفريقيا باسم النظام السودانى.

جـ - النظام الموسمى *Monsoon Regime* :

ترتبط كمية المطر وموعد سقوطها فى هذا النظام بالرياح الموسمية وتغزر الأمطار صيفاً (بالنسبة لنصف الكرة الشمالى) خاصة خلال الفترة الممتدة من مايو الى نهاية سبتمبر (٢). وتظهر قمة المطر فى شهر يوليو ويسقط فى هذا الشهر وحده أكثر من ٥٥ سم من المطر. ويتمثل هذا النظام فى جنوب شرقى

---

(1) Trewartha, G. T., "An Introduction to Climate" N Y (1954), p. 141

(٢) للدراسة التفصيلية راجع الفصل السادس عشر الخاص بدراسة الأقاليم المناخية فى العالم من هذا الكتاب.

آسيا وشرق الصين الشعبية. وإذا كانت المناطق الشرقية والوسطى من العروض المدارية ممطرة فإن المناطق الغربية فيها نادرة المطر. وقد أدى ذلك الى تكوين الصحارى الجافة فى غرب القارات بالعروض المدارية.

د - نظام البحر المتوسط *Mediterranean Regime* :

وهو عبارة عن منطقة إنتقالية تقع بين العروض المدارية فى الجنوب والعروض المعتدلة فى الشمال وذلك فيما بين دائرتى عرض ٣٠ْ – ٤٠ْ شمالاً وجنوباً وفى غرب القارات. وتتعرض هذه المناطق الأخيرة لتأثير الرياح العكسية الممطرة خلال فصل الشتاء فى حين لا تسقط الرياح التجارية التى تهب على هذه المناطق أمطاراً خلال فصل الصيف. ومن ثم فإن المطر الشتوى لمناطق نظام البحر المتوسط يزداد غرباً وتقل كمية الساقطة بإتجاه الشرق (١).

هـ - النظام الصينى :

وهو عبارة عن إمتداد نطاق عروض البحر المتوسط فيما بين دائرتى عرض ٣٠ْ – ٤٠ْ شمالاً وجنوباً ولكن فى شرق القارات. ويتمثل هذا النظام بصورة جيدة فى شرق الصين. والأمطار هنا صيفية بفعل الرياح الموسمية الشرقية وتتميز بغزارتها فى حين يتميز الشتاء بجفافه. ومن ثم فإن كمية المطر فى هذا النظام تزداد شرقاً وتقل فى إتجاه الغرب (٢).

و - نظام غرب أوربا :

ويتمثل هذا النظام فى العروض المعتدلة فيما وراء نظام البحر المتوسط ويقع نطاقه فيما بين دائرتى عرض ٤٠ْ – ٦٠ْ شمالاً وجنوباً فى غرب القارات. وتسقط الأمطار هنا طوال العام بسبب هبوب الرياح العكسية الغربية

---

(1) Gressewll, R. K., "Physical geography", London, (1972), p.58.

(٢) د. عبد العزيز طريح شرف «الجغرافيا المناخية والنباتية» الاسكندرية (١٩٦١) ص ١٨١ – ١٨٧.

إلا أنها تغزر خلال فصلى الشتاء والخريف، وتزداد كمية المطر السنوى الساقطة فى المناطق التى تحدث عندها الإنخفاضات الجوية بكثرة وتلك التى تتمثل فيها سلاسل جبلية تمتد عمودية بالنسبة لإتجاه الرياح الغربية. ومن ثم تقل الأمطار الساقطة فى إتجاه عام من الغرب الى الشرق.

ز - نظام وسط وشرق أوربا:

ويقع عند نفس دائرة عرض نظام غرب أوربا ولكن الى الشرق منه. ومن ثم تصل الرياح الغربية الى الأقاليم الوسطى وهى شبه جافة وتكاد تكون نادرة المطر فى الأقاليم الشرقية. وفى هذه الأقاليم الشرقية والوسطى بالعروض المعتدلة تسقط بعض الأمطار الإنقلابية الصيفية، نتيجة لإرتفاع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض خلال فصل الصيف، وصعود الهواء الى أعلى وتعرضه للبرودة والتكاثف، وتحدث هنا أيضاً عواصف الرعد والبرق. ويتمثل هذا النظام فى وسط أوربا وشرقها وجنوب سيبريا وفى السهول الوسطى بأمريكا الشمالية وسهول بتاجونيا فى أمريكا الجنوبية وأوربا الوسطى فى جنوب شرق أستراليا.

حـ - النظام شبه القطبى والقطبى :

ويمتد هذا النظام الى الشمال من الدائرة القطبية ٦٦,٥° شمالاً وجنوباً ولا يتأثر كثيراً بالرياح الغربية الممطرة ويقع معظم فترات السنة تحت تأثير الرياح القطبية الباردة الجافة. وتتعرض الهوامش الجنوبية من هذا النظام فى نصف الكرة الشمالى والهوامش الشمالية منه فى نصف الكرة الجنوبى لبعض الأمطار الساقطة بفعل تكوين الإنخفاضات الجوية عند نطاق الجبهات شبه القطبية *Subpolar Fronts* وتقل الأمطار فى هذا النطاق كلما إتجهنا شمالاً نحو القطب الشمالى وجنوباً نحو القطب الجنوبى. ومعظم التساقط هنا يحدث فى صورة ثلج نظراً لإنخفاض درجة حرارة الهواء القريب من سطح الأرض عن نقطة الندى خلال فصل الشتاء.

الإستمطار أو إسقاط المطر صناعياً :

تعود فكرة إسقاط الإنسان للمطر الصناعى *Artificial Rainfall* أو ما يعرف باسم «بذر السحب» الى بداية الأربعينيات من هذا القرن. ورجح المتيورولوجيون إمكانية إستخدام الطائرات وتحليقها فى مواقع تجمع السحب (الغيوم) وأن يقوم المختصون بإعداد وتجهيز بيئة جوية مناسبة تؤدى الى تزايد حدوث عمليات التكاثف فى هذه الغيوم. ويستخدم فى هذا الغرض طريقة رش السحب وبذرها بنترات الفضة وببعض المواد الكيماوية الأخرى وبحقن السحب بذرات تمثل فيها نوايات للتكاثف. وإقتصر إجراء مثل هذه التجارب حتى الستينيات من هذا القرن على السحب الباردة *Cold Clouds*.

ويتمثل عامل تنشيط نوايات التكاثف وبذر السحب وحقنها بأى من أيوديد الفضة AgI الذى تحتوى بلورته على نفس الخصائص الطبيعية لبلورات الثلج، أوبإستخدام ثانى أكسيد الكربون الجامد Co_2، عند درجة حرارة - ٨° م (- ١١٠° ف). وتعد بلورات أيوديد الفضة من الذرات المنشطة لحدوث التجمد ويزداد فعلها عند - ٤° م (٢٥° ف) أو أقل من ذلك (١).

وتسمح كريات الثلج الصغيرة المتناثرة فى السحب على تجمد قطيرات الماء وتجمعها حولها على شكل رقائق ثلجية *Snow Flakes*. وعلى ذلك عمل الباحثون على بذر نوايات التكاثف الإصطناعية فى تجمعات السحب حيث تقوم الطائرات بحقن هذه السحب بأيوديد الفضة أو عن طريق بذر ونشر كريات ثلجية صغيرة فى السحب. كما حاول العلماء إجراء مثل هذه التجارب من مواقع أرضية (عن طريق قذف السحب بمواد تثير فيها عمليات التكاثف) ولكن تبين أنه فى هذه الحالة تكون النتائج أقل فعالية وقد لا يصل أيوديد الفضة المنقذف من مراكز أرضية الى المواقع المناسبة فى تجمعات السحب.

وفى محاولات تنشيط عمليات التكاثف فى السحب الدفيئة *Warm*

---

(1) Lockwood, J. G., "World Climatology". Aronold, (1974), p. 28.

Clouds يستخدم العلماء فى تحقيق هذا الغرض بلورات الملح البحرى *Sea-Salt Crystals* وبعض المواد الأسترطابية الأخرى (الماصة للرطوبة) *Hygroscopic* التى تحقن السحب بها وينجم عنها تزايد نمو قطيرات الماء [(١)].

وفى المناطق الحارة الجافة أجرى العلماء عدة تجارب للإستمطار فوق السفوح الغربية لمرتفعات سيرانيفادا بكاليفورنيا عرفت باسم «مشروع سيرا التعاونى الإرشادى *Sierra Co-operative Pilot Project (SCPP)*» وإعتمدت هذه التجارب على طريقة حقن السحب الشتوية المتجمعة فوق السفوح الجبلية بمواد تثير فيها نوايات التكاثف وتعمل على تنشيطها، والقصد من ذلك إسقاط كميات كبيرة من الثلج، وتجمعه فوق القمم الجبلية لمرتفعات سيرانيفادا حتى يمكن إستغلال المياه المنصهرة منه خلال فصل الربيع فى توفير حاجات السكان المتزايدة من المياه فى ولاية كاليفورنيا. وتتمركز منطقة تجارب مشروع سيرا فى منطقة بحيرة تاهوى *Tahoe* . وقد تبين أن شهر يناير يعد أنسب شهور السنة لبذر السحب المتجمعة فوق أعالى الجبال، وخاصة تلك التى تحتوى على قطيرات مائية غير أنها فى حاجة الى وجود بلورات ثلجية لتعزيز حدوث عمليات التكاثف وإسقاط الثلج منها.

وفى السبعينيات والثمانينيات من هذا القرن أجرى العلماء (فى مؤسسة *NOAA*) عدة تجارب أخرى لبذر السحب المتراكمة فى جنوب شبه جزيرة فلوريدا. وإستخدم العلماء فى هذا الشأن كل من أيوديد الفضة وذرات دقيقة الحجم من الرمال. وقد أثبتت هذه التجارب الأخيرة زيادة كمية الأمطار الساقطة التى تم بذرها بأيوديد الفضة بنسبة تصل الى ٢٥٪ زيادة عن متوسط

---

(1) a - Geiger, R. "The Climate near the ground", Harvard Univ. Press (1980), p.193.

b - Donn, W. L., "The earth, our Physical Environment", John Wiley & Sons, N. Y. (1972).

سقوطها فى حالة إستخدام الرمال.

وقد تبين أنه يمكن للمختصين إجراء مثل هذه التجارب السابقة فى مناطق مختلفة من العالم وإسقاط الأمطار إصطناعياً. غير أن بعض هذه التجارب لم تحقق النجاح الذى كان مرجواً منها وذلك بسبب إرتباط حدوث الإستمطار بوجود غيوم أو تجمعات من السحب الكثيفة، وأن نسبة ما يتكاثف من هذه السحب لا يتعدى ١ ٪ فقط من نسبة الرطوبة فيها، هذا الى جانب عدم تحكم العلماء فى تحديد مواقع هطول المطر الإصطناعى على سطح الأرض ولا حتى فى كميته. وقد يتعرض المطر الإصطناعى الساقط فى المناطق الحارة الجافة لعمليات التبخر من جديد عند إقترابه من سطح الأرض، ومن ثم يتحول الى بخار ماء قبل وصوله الى الأرض. هذا الى جانب تفاقم المشاكل السياسية التى قد تظهر بين الدول المتجاورة التى تقوم بإجراء مثل هذه التجارب للإستمطار، والتى قد يكون سببها سقوط الأمطار الصناعية من سحب كان مقدراً لها من قبل أن تتحرك وتنساب صوب مرتفعات جبلية فى بلدان أخرى مجاورة وكان من المتوقع سقوط أمطارها فوق هذه البلدان، أو بمعنى آخر فإن التحكم الإصطناعى فى التوزيع الجغرافى لمورد طبيعى ما، قد يتسبب فى حدوث مشاكل سياسية بين بلدان متجاورة. ومن المتوقع أن تكون المشكلات السياسية وحروب القرن القادم حول سيطرة الدول على الموارد المائية ومصادرها.

وعن طريق إستخدام التقنيات الكهربائية للتحكم فى الأحوال والظروف الجوية (وذلك عن طريق إنشاء محطات أرضية ترسل موجات كهربائية تهدف الى تنشيط عمليات التكاثف فى السحب) يؤكد بعض الباحثين إمكانات هذه الطريقة الجديدة فى التغلب على كل المشاكل القديمة، وعلاج أوجه القصور التى كانت ترتبط بإستخدام طرق الإستمطار التقليدية. وتؤكد نتائج هذه الطريقة الكهربائية الجديدة فى إمكانية حدوث الإستمطار دون الحاجة الى وجود غيوم مسبقة، وكفائتها فى تفكيك أنواع الغيوم والتحكم فى

نشاط الزوابع والأعاصير المدارية.

ونظراً لحاجة الإنسان المتزايدة للمياه عاماً بعد آخر تسعى كثير من دول الشرق الأوسط لتأمين حاجتها من المياه والبحث عن مصادر مياه جديدة عن طريق الإستمطار، وفي أراضي فلسطين المحتلة أجريت عدة تجارب للإستمطار خاصة في خلال الفترة من ٦١ الى ١٩٦٧ ومن عام ١٩٦٩ الى ١٩٧٥.

وفي الجمهورية السورية تبنت وزارة الزراعة مشروعاً ضخماً للإستمطار منذ نحو خمس سنوات بهدف تحسين توزيع كمية الأمطار الساقطة لخدمة الزراعات البعلية (التي تعتمد على المطر). وبالتعاون مع المرصد الجوى المركزى الروسى تم تزويد وزارة الزراعة السورية (في ضوء عقد الإستمطار الذى بدأ منذ عام ١٩٩١) بالطائرات اللازمة وبمحطات الرادار ومحطات إستقبال ما تبثه الأقمار الصناعية المناخية الثابتة والمتحركة.

وإعتمدت تجارب الإستمطار في سوريا على إستخدام الطائرات في بذر السحب وحقنها بأيوديد الفضة، ونتج عن هذه التجارب زيادة كمية الأمطار الساقطة الإضافية (الزائدة عن المعدل السنوى لكمية الأمطار الساقطة) في موسم عام ١٩٩١ بنحو ٢,٤٥ مليار م٣، وكانت تكلفة المتر المكعب الواحد ٠,٠٠٢ ليرة سورية. وفي عام ٩٢/٩١ تحقق زيادة واضحة في كمية الإستمطار بلغت ٣,٢ مليار م٣ وكانت تكلفة المتر المكعب الواحد فيها ٠,٠٠٩ ليرة سورية، ثم ارتفعت كمية الأمطار الساقطة في عام ٩٣/٩٢ الى نحو ٣,٦ مليار م٣ عن المعدل السنوى وفي عام ٩٤/٩٣ الى نحو ٢,٧ مليار م٣ عن المعدل السنوى.

الفصل السادس عشر
الاقاليم المناخية فى العالم

يعرض هذا الفصل لدراسة الأقاليم المناخية الممثلة فعلاً على سطح الأرض والتى قد تتشابه مجموعاتها مع مجموعات الأقاليم المناخية التجريبية الوضعية وسنتبع فى دراستنا هذه التقسيم الذى اقترحه الأستاذ كاى جريسويل *Gresswell, 1972* (١) للأقاليم المناخية الفعلية وتوزيعها الجغرافى الفعلى على سطح الأرض تبعاً للبيانات المناخية الفعلية المتوفرة فى محطات الأرصاد الجوية المنتشرة على سطح الأرض. وقد قسم هذا الباحث سطح العالم الى أربعة أقاليم مناخية رئيسية، وصنف عدة أقاليم مناخية ثانوية تقع داخل نطاق كل من هذه الأقاليم المناخية الرئيسية ويتلخص تقسيمه فى الآتى : (شكل٩٠)

أولاً : المناخات الإستوائية، وتشمل *Equatorial Climates* :

١ – المناخ الرستوائى.

٢ – المناخ المدارى الرطب ـ الجاف.

٣ – المناخ الموسمى (٢).

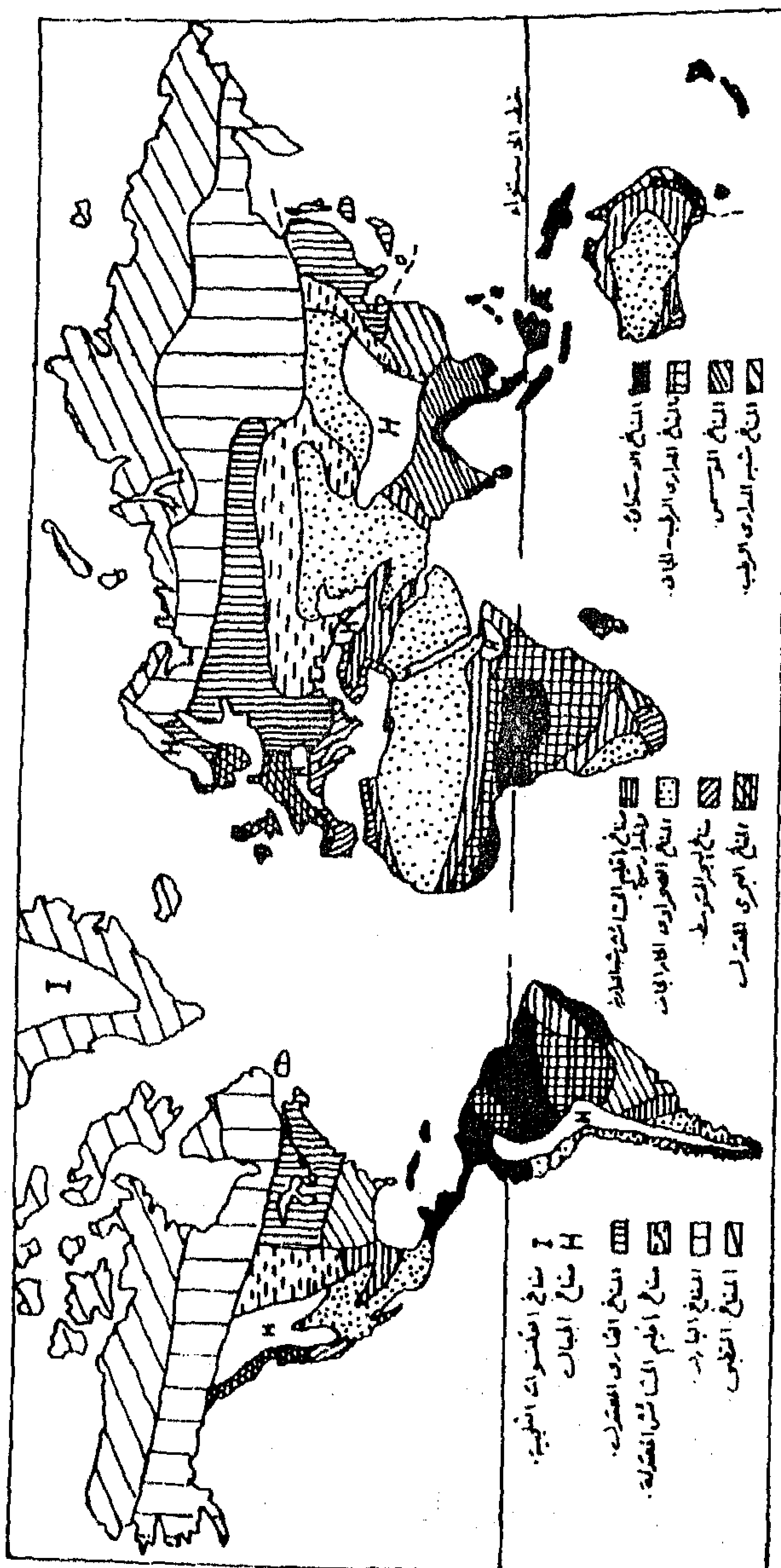
ثانياً : المناخات المدارية، وتشمل *Tropical Climates* :

١ – المناخ شبه المدارى الرطب.

---

(1) Gresswell, Kay, R., "Physical geography", Longman (1972), p. 51.

(٢) إعتبر جريسويل إن المناخ الموسمى الرطب يمكن أن يكون جزءاً من النطاق الإستوائى، كما أنه قد إستخدم تعبير مناخ «أقليم الحشائش المدارية وشبه المدارية»، ومناخ «إقليم الحشائش المعتدلة»، وهما تعبيران نباتيان وهو يقصد بذلك المناخ السودانى والمناخ القارى المعتدل شبه الجاف على التوالى، كما أنه وضع إقليم المناخ البارد مع مجموعة المناخات القطبية. راجع المرجع السابق Gresswell K. R (1972) p. 52.



(شكل ٩٠) التوزيع الجغرافى للأقاليم المناخية فى العالم حسب دراسات كاى جريسويل

٢ - مناخ إقليم الحشائش المدارية وشبه المدارية.

٣ - المناخ الصحراوى الحار الجاف.

ثالثاً : المناخات المعتدلة، وتشمل *Temperate Climates* :

١ - مناخ البحر المتوسط.

٢ - المناخ البحرى المعتدل.

٣ - المناخ القارى المعتدل.

٤ - مناخ إقليم الحشائش المعتدلة.

رابعاً : المناخات القطبية، وتشمل *Arctic Climates* :

١ - المناخ البارد.

٢ - المناخ القطبى أو مناخ التندرا.

٣ - مناخ أقاليم الغطاءات والقلنسوات الثلجية.

وفيما يلى عرض موجز للخصائص العامة لكل من هذه الأقاليم المختلفة وتوزيعها على سطح الأرض.

أولاً : المناخات الإستوائية

تضم هذه المجموعة من المناخات ثلاثة أقاليم مناخية رئيسة تتمثل فيما يلى :

أ - المناخ الإستوائى *Equatorial Climates* :

يتمثل هذا المناخ عند نطاق الدائرة الإستوائية وإلى الشمال والجنوب منها ببضع درجات عرضية ولكن قد يتسع نطاقه فى الأجزاء الشرقية من القارات وخاصة بقارة آسيا وقد تصل أبعاده الى ٢٠° شمالاً. ويظهر هذا المناخ فى السهول الساحلية الغربية لأفريقيا (ساحل غانا) وبحوض الكنغو. ولكن لا يمتد هذا الإقليم شرقاً حتى الساحل الشرقى لأفريقيا تبعاً لإمتداد السلاسل الجبلية ووقوع الهضاب العالية الى الشرق من حوض الكنغو. كما تظهر نطاقات هذا

الإقليم المناخى فى حوض الأمازون بحيث يكاد يشغل النصف الشمالى من البرازيل، وفى بعض أراضى فنزويلا وكولومبيا عند الركن الشمالى الغربى من أمريكا الجنوبية. وتظهر نطاقات المناخ الإستوائى فى كثير من جزر الهند الشرقية، ولو أن المناخ الإستوائى هنا أكثر إعتدالاً منه فى حوضى الكنغو والأمازون.

وتقع نطاقات هذا الإقليم المناخى فى إقليم الرهو أو الركود الإستوائى *Equatorial calms or doldrums* وعند تلاقى الرياح التجارية الشمالية الشرقية مع الرياح التجارية الجنوبية الشرقية. ويستقبل هذا الإقليم المناخى أكبر قسط من الأشعة الشمسية القوية، وينتج عنها تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض بشدة وصعوده الى أعلى باستمرار وتكوين الكتل الهوائية الإستوائية والمدارية. ويتأثر هذ الإقليم المناخى كذلك بالأمطار الإنقلابية الغزيرة وأمطار عواصف الرعد والبرق. وتسقط هذه الأمطار بعد ظهر كل يوم أى بعد حدوث صعود الهواء الى أعلى خلال النصف الأول من النهار ومن ثم يقال «إن شتاء الأقاليم الإستوائية هو لياليها» (١).

ومن دراسة المنحنيات الحرارية لبعض محطات الأرصاد الجوية فى هذا الإقليم المناخى يتبين أن المتوسط الشهرى لدرجة الحرارة يصل الى نحو ٧٩° ف، ويكاد يتشابه هذا المتوسط الشهرى لدرجة الحرارة من شهر الى آخر تبعاً لتشابه مقدار زوايا سقوط الأشعة الشمسية فوق أجزاء هذا الإقليم طول العام. ولا تزيد مقدار زاوية سقوط الأشعة الشمسية فى أى شهر من شهور السنة عن ٢٣,٥°، وتتعامد هذه الأشعة فوق الدائرية الإستوائية خلال فترة الإعتدالين، ويبلغ المتوسط السنوى لدرجة الحرارة فى هذا الإقليم المناخى نحو ٨٠° ف (٢٧° م) ولا يزيد المدى الحرارى السنوى عن ١٠° ف فى حين قد يصل المدى الحرارى اليومى الى ٢٠° ف ومع ذلك فمن النادر أن تنخفض النهاية

(1) Kendrew, W. G., "The climates of the continents", Oxford, Eigth edi (1961), p.76.

الصغرى لدرجة الحرارة اليومية عن ٦٤ْ ف. ولمنحنى الحرارة السنوى قمتان حراريتان يتمثلان فى فترة الإعتدالين (عندما تتعامد الشمس على الدائرة الإستوائية فى الربيع والخريف). وتبعاً لإرتفاع درجة الحرارة خلال هذه الفترة من السنة، يزداد صعود الهواء الى أعلى وتتسع نطاقات الرهو الإستوائى ويكثر حدوث عواصف الرعد والبرق، وتغزر كمية الأمطار الإنقلابية الساقطة. ومن ثم فإن أغزر فترات السنة مطراً هى الفترة الممتدة من أول أبريل حتى نهاية يونيو، وتلك الممتدة من أول سبتمبر حتى نهاية نوفمبر، وينجم عن زيادة كمية الأمطار الساقطة طول العام هنا، تدنى أهمية القيمة الفعلية للأمطار، وإرتفاع نسبة الرطوبة فى الجو. وتتراوح كمية المطر السنوى هنا من ٦٠ - ٨٠ بوصة (١٥٠ - ٢٠٠ سم) ولكنها قد تصل فى بعض المواقع الى نحو ١٠٠ بوصة سنوياً. ولا يوجد فى هذا الإقليم المناخى أى شهر أو فصل جاف ومتوسط أغزر شهور السنة مطراً (خلال فترة الإعتدالين) نحو ١٠ بوصات، فى حين يصل نصيب أقل شهور السنة مطراً (خلال فترة الإنقلابين) الى نحو ٤ بوصات.

وتمثل البيانات الماخية لكل من مدينة كولومبو *Colombo* (عاصمة سرى لانكا) وستانليفيل *Stanleyville* (فى أواسط أفريقيا) الخصائص المناخية العامة لهذا الإقليم المناخى. وتبلغ كمية المطر السنوى فوق كولومبو نحو ٨١ بوصة (٢٠٣ سم) ويتضح كذلك إن أقل شهور الشتاء مطراً فى كولومبو هو شهر فبراير (حيث تقع عند دائرة عرض ٧ْ شمالاً) وأقل شهور الصيف مطراً هنا هو شهر أغسطس حيث تبلغ متوسط كمية المطر الشهرى نحو ٢ بوصة (٥ سم) فى حين يسقط فوق كولومبو خلال شهر أكتوبر نحو ١٤ بوصة (٣٥ سم) وفى شهر مايو نحو ١١ بوصة (٢٨ سم). أما بالنسبة لمدينة ستانليفيل فإن المنحنى الحرارى السنوى الخاص بها يكاد يكون مستقيم الإمتداد ولا تظهر أية قمم حرارية فيه ومن ثم تتشابه كذلك كميات الأمطار الشهرية الساقطة بين شهر وآخر الى حد كبير (شكل ٩١).

(شكل ٩١) المناخ الإستوائى ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى كولومبو (٧ْ شمالاً فى سرى لانكا) وستانليفيل (١ْ شمالاً فى الكونغو)

ب - المناخ المدارى الرطب والجاف :

Tropical wet-and-dry climate

يقع هذا الإقليم المناخى على هوامش الإقليم المناخى الإستوائى، وقد تمتد أبعاده الى نحو ٢٥ْ شمالاً وجنوباً من الدائرة الإستوائية. ويتمثل هذا المناخ فى المناطق الإستوائية الجبلية المرتفعة كما هو الحال فى مرتفعات شرق أواسط أفريقيا وفى الأراضى المرتفعة من إقليم شبادا *Chapada* وأجزاء من جنوب وسط البرازيل.

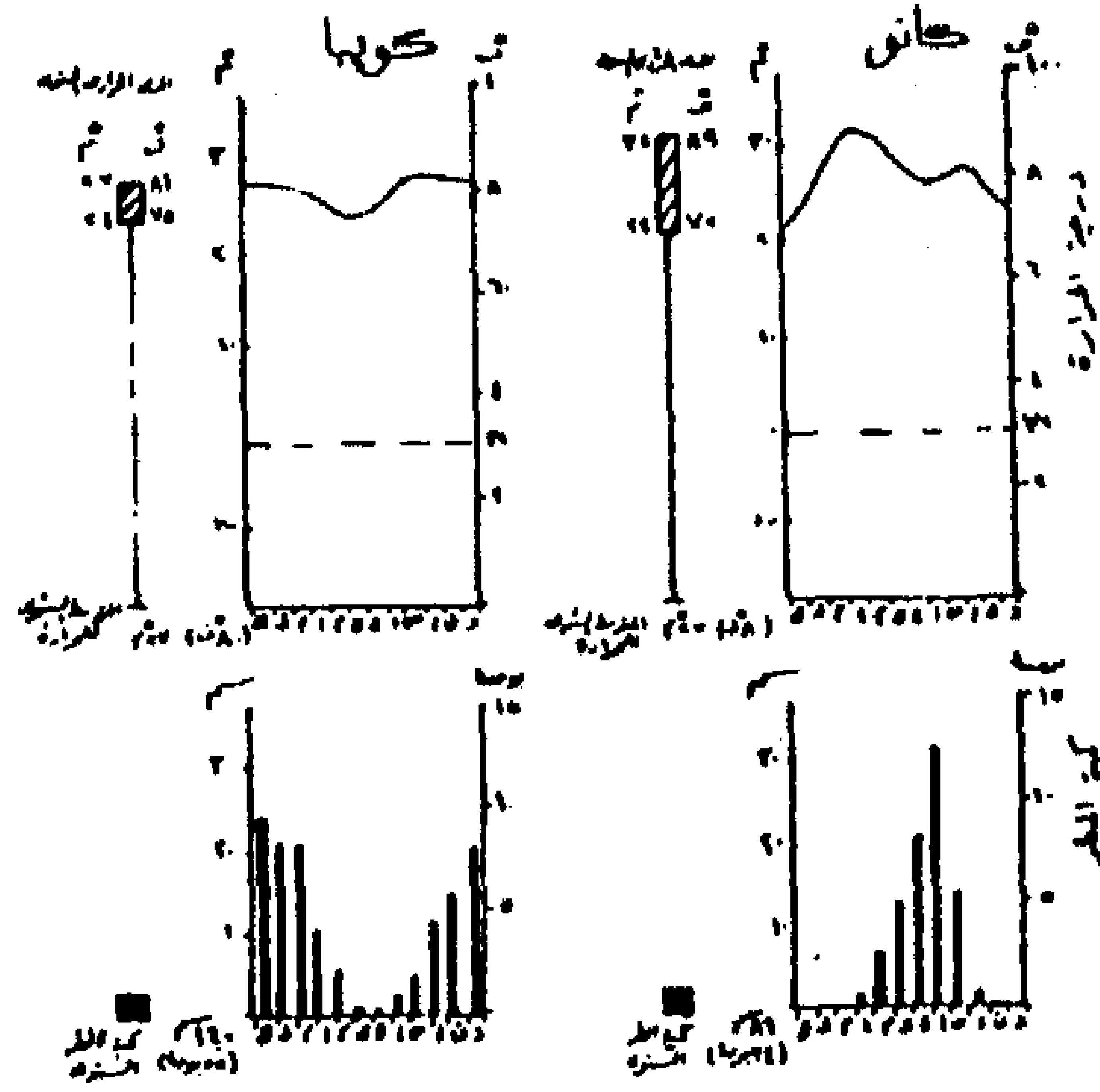
ويلاحظ أن المتوسط السنوى لدرجة الحرارة لا يزال يشبه مثيله فى الإقليم المناخى الإستوائى (٢٧ْ م أو ٨٠ْ ف)، إلا أن المدى الحرارى السنوى هنا أكبر

نسبياً حيث يصل الى نحو ٢٠ْ ف، وتنقسم السنة فى هذا الإقليم المناخى الى فصلين أحدهما شتوى والآخر صيفى على الرغم من الإرتفاع العام لدرجة الحرارة طوال أشهر السنة. وخلال الفترة الصيفية (تمتد من يونيو الى أغسطس فى نصف الكرة الشمالى، ومن نوفمبير الى يناير فى نصف الكرة الجنوبى) تتأثر معظم أجزاء هذا الإقليم بالكتل الهوائية الإستوائية البحرية الرطبة. ويبلغ المتوسط الشهرى لكمية الأمطار الساقطة خلال هذا الفصل نحو ١٠ بوصات (٢٥ سم). أما خلال فصل الشتاء فتتأثر أجزاء هذا الإقليم المناخى بالكتل الهوائية القارية، وتقل كمية الأمطار الساقطة ويسود الجفاف، ومن ثم سمى هذا الإقليم باسم المناخ الرطب الجاف *Wet-and-Dry* تمييزاً له عن إقليم المناخ الإستوائى الممطر طول العام ويعد المدى الحرارى اليومى فى هذا الإقليم المناخى (من ٥ - ١٢ْ م) أعلى من المدى الحرارى السنوى.

وتوضح البيانات المناخية لمدينة كويبا *Cuiaba* فى وسط جنوب البرازيل (فى نصف الكرة الجنوبى) ولمدينة كانو *Kano* فى شمال نيجريا (فى نصف الكرة الشمالى) الخصائص المناخية العامة لهذا الإقليم. ومن دراسة (شكل ٩٢) يتضح أن المتوسط السنوى لدرجة الحرارة فى هاتين المدينتين هو ٢٧ْ م (٨٠ْ ف)، ويصل المدى الحرارى السنوى فى كويبا الى ٤ْ م (٧ْ ف) وفى كانو نحو ٩ْ م (١٧ْ ف). ويسقط نحو نصف كمية المطر السنوى فوق كويبا خلال الفترة الممتدة من يناير الى نهاية مارس (الصيف الجنوبى) فى حين يسقط ٣/٤ كمية المطر السنوى فوق كانو خلال الفترة الممتدة من يوليو الى نهاية سبتمبر (الصيف الشمالى). ولا تزيد كمية المطر الشهرى خلال فصل الشتاء فوق كويبا عن ١,٥ بوصة (٤ سم) فى حين يتميز شتاء مدينة كانو بالجفاف (شكل ٩٢).

جـ - المناخ الموسمى *Monsoon climate* :

على الرغم من أن هذا الإقليم المناخى يتألف من فصلين أحدهما رطب والآخر جاف، إلا أنه يختلف عن المناخ المدارى الرطب ـ الجاف، الذى



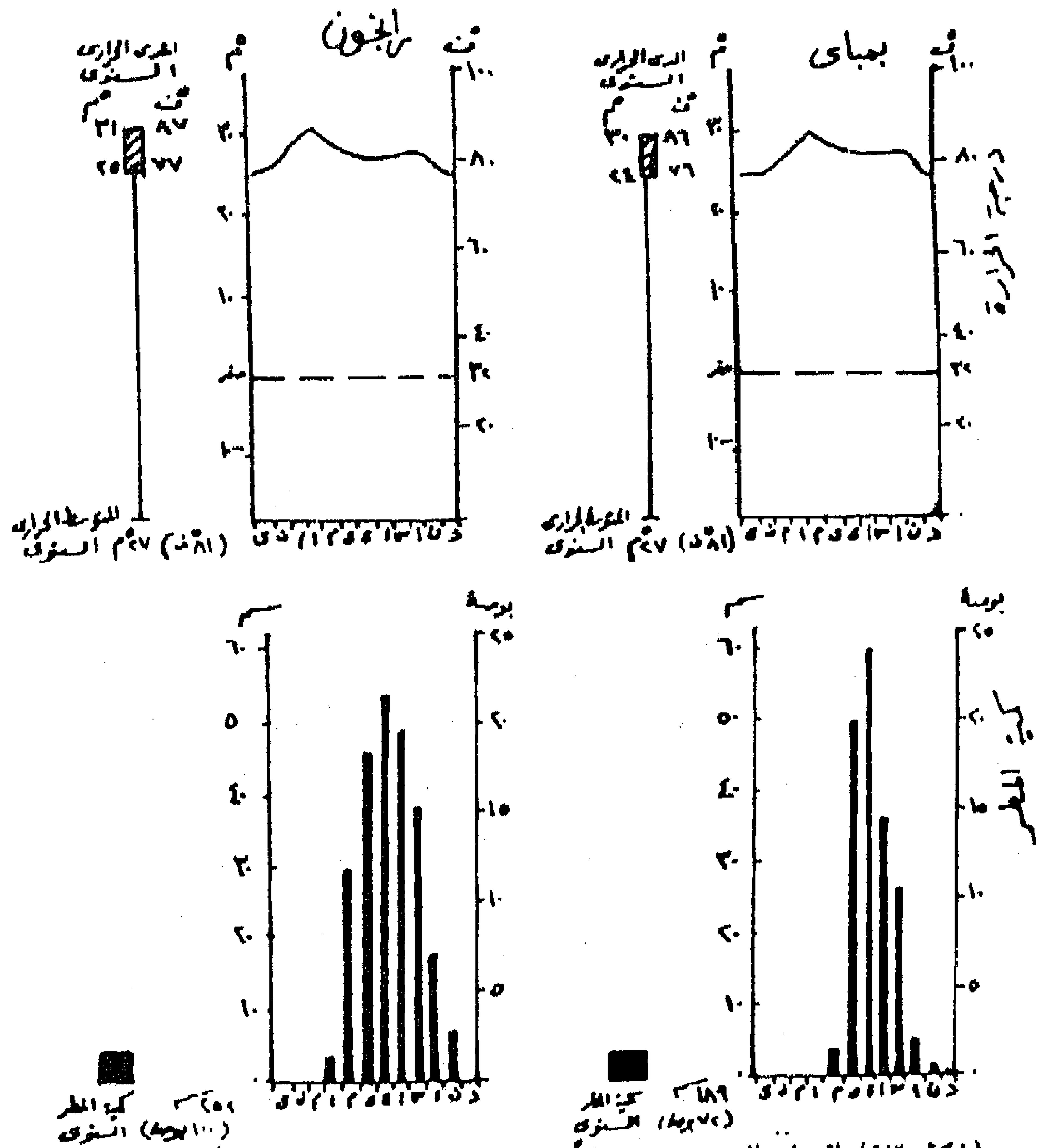
(شكل ٩٢) المناخ المدارى الرطب - الجاف ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى كويبا (١٦ْ جنوباً فى البرازيل) وكانو (١٢ْ شمالاً فى نيجيريا)

سبقت الإشارة إليه من قبل، لأن كمية المطر الصيفى هنا غزيرة جداً وترتبط بموعد هبوب الرياح الموسمية الصيفية الناتجة عن الإختلافات الحرارية بين هواء اليابس والهواء الملامس للمسطحات المائية المجاورة له. ومن ثم تتأثر أجزاء هذا الإقليم الموسمى بالكتل الهوائية المدارية القارية شتاء، وبالكتل الهوائية الإستوائية والمدارية البحرية صيفاً.، ويتمثل هذا الإقليم المناخى أحسن تمثيل فى جنوب وشرق آسيا. ويؤثر الإمتداد العام للسلاسل الجبلية بالنسبة لإتجاه الرياح الموسمية فى كمية الأمطار الساقطة. ومن ثم تسقط الرياح الموسمية الجنوبية الغربية الصيفية أمطاراً غزيرة فوق إقليم الغات الغربية وتصل هذه الرياح الى داخل هضبة الدكن فى الشرق شبه جافة. وكذلك تسقط الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية الصيفية أمطاراً غزيرة فوق مرتفعات أنام وتقل الأمطار كلما اتجهت الرياح صوب المناطق الداخلية من الصين الهندية فى الغرب.

وتمثل البيانات المناخية لمدينة بومباى *Bombay* ولمدينة رانجون *Rangon* الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى. (شكل ٩٣). فالمتوسط

السنوى لدرجة الحرارة فيهما يصل الى ٢٧ْ م (٨١ْ ف) ويعد شهر يناير أبرد شهور السنة وتتراوح درجة حرارته من ٢٤ْ - ٢٥ْ م (٧٦ْ - ٧٧ْ ف) وتتأثر كليهما بفعل التبخر الشديد خلال الفصل الممطر والذى يؤثر بدوره فى إنخفاض درجة الحرارة بنحو ٣ْ وفى القيمة الفعلية للأمطار. ويعد شهر مايو أدفأ شهور السنة حيث تتراوح درجة حرارته من ٣٠ْ - ٣١ْ (٨٦ْ - ٨٧ْ ف) وتنخفض درجة حرارة شهر يوليو فى بومباى الى نحو ٢٧ْ م (٨١ْ ف) وفى رانجون الى نحو ٢٦ْ م (٨٠ْ ف).

ومن أهم ما يميز المناخ الموسمى هو سقوط ٣/٤ كمية المطر السنوى خلال



(شكل ٩٣) المناخ الموسمى ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى رانجون (١٧ْ شمالاً فى بورما) وبومباى (١٩ْ شمالاً فى الهند)

المدة من يونيو الى أغسطس، ويعد شهر فبراير أقل شهور السنة مطراً. ويرجع ذلك الى إختلاف إتجاه الرياح من فصل الى آخر. ففى فصل الشتاء الشمالى تهب الرياح الموسمية القارية الجافة من اليابس الى البحر، فى حين تهب الرياح الموسمية البحرية الرطبة فى فصل الصيف من المسطحات المائية الى اليابس المجاور.

ويوضح الجدول الآتى الخصائص العامة لكل من هذه الأقاليم المناخية التى تدخل تحت نطاق المناخات الإستوائية بحسب دراسات كاى جريسول [1].

الخصائص المناخية	المناخ الإستوائى	المناخ الرطب - الجاف	المناخ الموسمى
المتوسط السنوى للحرارة المدى الحرارى السنوى	٢٧° (٨٠°ف) ٢° م (٣° ف)	٢٧° (٨٠°ف) ٥° م (٩° ف)	٢٧° (٨٠°ف) ٥° م (٩° ف)
كمية المطر السنوى نصيب الفصل الممطر (من المطر السنوى) نصيب الفصل الجاف (من المطر السنوى)	مرتفعة ٧٠ بوصة (١٨٠ سم) ٢/٣ فى الإعتدالين. ١/٣ المطر فى الإنقلابين	مرتفعة ٥٠ بوصة (١٣٠ سم) ١/٢ المطر فى الصيف. محدود جداً (فى الشتاء)	مرتفعة ٧٠ بوصة (١٨٠ سم) ٣/٤ المطر فى الصيف. محدود جداً (فى الشتاء)

ثانياً : المناخات المدارية

١ - المناخ شبه المدارى الرطب *Humid Subtropical Climate*:

يتمثل هذا الإقليم المناخى فى جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية وجنوب شرق البرازيل، وأوراجواى وفى أجزاء واسعة من الأرجنتين وبعض

---

(1) Gresswell, K. P., "Physical geography". Longman, (1972), p. 62

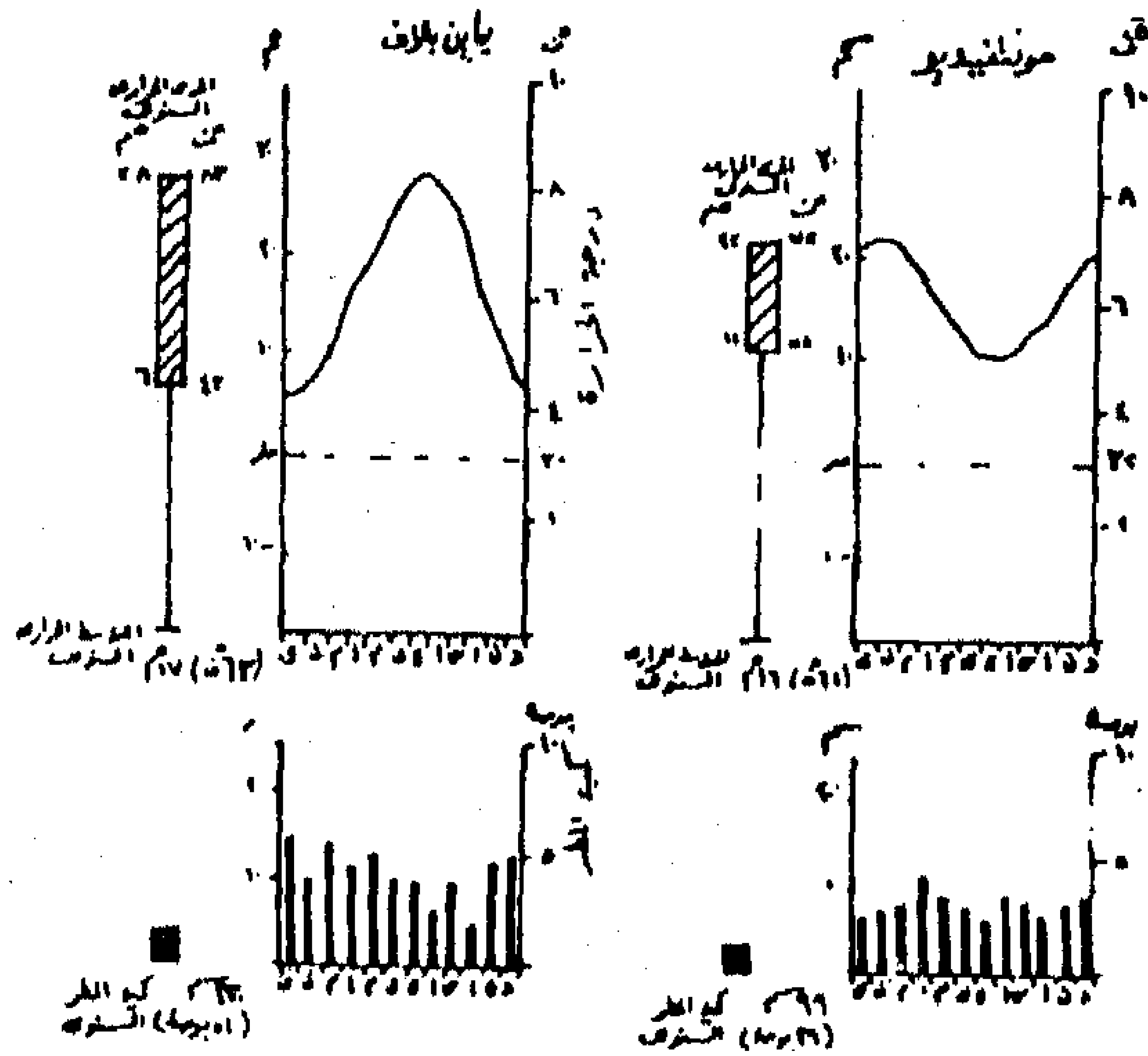
أجزاء من السواحل الجنوبية الشرقية لأفريقيا وجنوب شرق الصين (ويعرف هنا باسم المناخ الصينى). وبمقارنة هذا المناخ بغيره من المناخات الإستوائية يتبين أنه أكثر منها جفافاً، وتتأثر أجزاء هذا الإقليم بالكتل الهوائية المدارية البحرية المحملة بالرطوبة خاصة خلال فصل الصيف، أما خلال فصل الشتاء فتتقابل هذه الكتل الهوائية بغيرها من الكتل الهوائية القطبية القارية الباردة، وينتج عن تقابل هذه الكتل المختلفة الخصائص الطبيعية صعود الهواء الساخن الى أعلى وإنزلاق الهواء البارد الى أسفل وتكوين الجبهات *Fronts*.

وتشبه درجة حرارة أشهر فصل الصيف فى هذا الإقليم، المتوسط السنوى لدرجة حرارة الإقليم الإستوائى (٨٠ ْ ف)، إلا أن درجة الحرارة تنخفض هنا خلال فصل الشتاء (٤٥ ْ ف) ومن ثم فإن المدى الحرارى السنوى فى المناخ شبه المدارى الرطب يبلغ نحو ١٠ ْ م. أما كمية المطر السنوى فوق هذا الإقليم المناخى فقد تصل الى نحو نصف ما يسقط فوق الإقليم الإستوائى سنوياً. وعلى الرغم من أن هناك قمة للمطر خلال فصل الصيف أو عند نهايته، فلا يوجد فصل جاف تماماً فى هذا الإقليم. ويسقط نحو ١/٣ كمية المطر السنوى خلال ثلاثة شهور والتى تمثل الفصل الرطب فى حين يسقط نحو ١/٥ كمية المطر السنوى خلال الفصل الأقل مطراً.

ويقع هذا الإقليم شبه المدارى الرطب تحت تأثير الرياح التجارية خلال معظم أيام السنة ولكن فى شرق الصين يتأثر الإقليم المناخى هنا بالرياح الموسمية الجنوبية الشرقية الرطبة صيفاً، وبالرياح الموسمية الشمالية الغربية الجافة شتاء، وعلى الرغم من أن هذا الإقليم له نفس الخصائص العامة للإقليم الموسمى، إلا أنه يعد ضمن إقليم شبه المدارى الرطب تبعاً لبرودته خلال فصل الشتاء.

وتمثل البيانات المناخية لكل من مدينة باين بلاف *Pine Bluff* فى أركنساس (فى نصف الكرة الشمالى) ومدينة مونتفيديو *Montevideo* فى أورجواى (فى نصف الكرة الجنوبى) الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى.

وعلى ذلك تسجل أعلى درجات الحرارة فى «باين بلاف» خلال شهر يوليو (٨٣ْ ف) وأقلها حرارة خلال شهر ديسمبر (٧٣ْ ف) أى يصل المدى الحرارى السنوى الى نحو ٤٠ْ ف، ويبلغ المتوسط السنوى لدرجة الحرارة هنا الى نحو ١٧ْ م (٦٣ْ ف). وتبلغ كمية المطر السنوى نحو ١٣٠ سم (٥٢ بوصة) ولا يوجد فيه فصل جاف، وأغزر شهور السنة مطراً هنا تتمثل فى يناير ونوفمبر وديسمبر. أما بالنسبة لمدينة مونتفيديو فإن شهر فبراير يعد أعلى شهور السنة حرارة (٧٢ْ ف) وشهر يوليو هو أقلها حرارة (٥١ْ ف)، ومن ثم فإن المدى الحرارى السنوى يصل الى نحو ٢١ْ ف. ويبلغ المتوسط السنوى لدرجة الحرارة فى مونتفيديو نحو ١٦ْ م (٦١ْ ف). وعلى الرغم من سقوط المطر هنا طول العام ولا يوجد أى شهر يخلو منه سقوط المطر، فإن كمية المطر السنوى تصل الى نحو ٩٩ سم (٣٩ بوصة). ويعد شهر أبريل وشهر مايو هما أغزر شهور السنة مطراً (شكل ٩٤).



(شكل ٩٤) المناخ شبه المدارى الرطب ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى باين بلاف (٣٤ْ شمالاً فى أركنساس بالولايات المتحدة الأمريكية ومنتفيديو) (٢٥ْ جنوباً فى أورجواى)

٢ - مناخ إقليم الحشائش المدارية وشبه المدارية :

Tropic and Subtropic Grassland Climate

يتأثر هذا الإقليم المناخى بالكتل الهوائية القارية المدارية الحارة الجافة وينحصر نطاقه فى قارة أفريقيا بين الإقليم المناخى الرطب - الجاف جنوباً وإقليم الصحارى الحارة الجافة شمالاً (فى نصف الكرة الشمالى). ويشغل درجات طولية تمتد من خط طول جزر الرأس الأخضر حتى مرتفعات الحبشة فى الشرق. ويمتد هذا الإقليم المناخى فى النصف الجنوبى من قارة أفريقيا فيما بين بنجويلا فى الغرب وإقليم بولاوايو فى الشرق. ويظهر هذا الإقليم المناخى فى غربى آسيا حيث يمتد نطاقه فيما بين البحر الأسود والخليج العربى. كما يتمثل هذا المناخ فى الولايات المتحدة الأمريكية خاصة فيما بين الساحل الشمالى الغربى لخليج المكسيك حتى أطراف مناخ الحشائش المعتدلة فى الشمال. أما فى أمريكا الجنوبية فيمتد هذا المناخ من إقليم فورتلازا *Fortaleza* فى شمال شرق البرازيل حتى هضبة البرازيل، كما أنه يضم الجانب الغربى من إقليم البمبا فى الأرجنتين، والقسم الشمالى من قارة أستراليا الى الشمال من الإقليم الصحراوى الحار الجاف.

وتمثل البيانات المناخية لمحطة بولاوايو *Bulawayo* فى روديسيا (على إرتفاع ٤٤٠٠ قدم - ١٢٠٠ متر) الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى. فيبلغ المتوسط السنوى لدرجة الحرارة هنا ١٩° (٦٦° ف)، والمدى الحرارى السنوى يتراوح من ٨ - ١٥° م. وتبعاً لموقع هذه المدينة فى نصف الكرة الجنوبى فإن المنحنى الحرارى لها تظهر له قمة حرارية واضحة خلال شهر ديسمبر (٧٥° ف)، وتكوين مقعر حرارى خلال شهر يوليو (٦٠° ف) ويتفق موسم سقوط الأمطار مع موسم الحرارة المرتفعة فى الصيف الجنوبى حيث تغزر الأمطار الساقطة فى أشهر ديسمبر ويناير وفبراير (الشتاء الشمالى) وتتمثل أجف شهور السنة مطراً فى الفترة من مايو الى سبتمبر. وتبلغ كمية المطر السنوى الساقطة فوق بولاوايو ٦٤ سم (٢٥ بوصة) ويسقط نحو ٦٠ ٪ من هذه الكمية خلال الفصل الصيفى الممطر (شكل ٩٥).

(شكل ٩٥) مناخ إقليم الحشائش المدارية وشبه المدارية ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطة بولاوايو (٢١° جنوباً فى روديسيا)

٣ - المناخ الصحراوى الحار الجاف *Hot desert Climate* :

يعد نطاق هذا الإقليم المناخى المصدر الرئيسى للكتل الهوائية المدارية القارية. ومن ثم يتمثل فيه نطاقات مراكز الضغط المرتفع والهواء الهابط *Subsiding air*، كما تنخفض فيه نسبة الرطوبة فى الهواء. وأظهر أجزاء هذا الإقليم الحار الجاف تتمثل فى الصحراء الكبرى الحارة الأفريقية، ويمتد نطاقها شرقاً ليشمل صحراء بلاد شبه الجزيرة العربية وصحراء الشام. وإلى الشمال والجنوب من بحر قزوين يظهر إمتداد واسع للصحارى الحارة الجافة، وتمتد نطاقاتها شرقاً لتشمل صحارى أحواض جوبى ومنغوليا وتكلا ماكان وزونجاريا وتاريم، كما تظهر نطاقات من الصحارى الحارة الجافة فى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية، خاصة صحارى أريزونا ونيفادا وكلورادو، وصحارى واساتش وموجاف. وكذلك صحارى سونورا وشيهواهو وكواويلا فى

المسكيك. ونتيجة لقلة مساحة اليابس فى نصف الكرة الجنوبى فإن مساحة نطاقات إقيلم المناخ الصحراوى الحار الجاف فى نصف الكرة الجنوبى تعد أقل بكثير من مساحة مثيلتها فى نصف الكرة الشمالى. ومن بين أهم نطاقات هذا الإقليم المناخى فى نصف الكرة الجنوبى صحارى إتكاما فى شمال شيلى، وصحراء شمال غرب الأرجنتين، وصحراء كلهارى وناميب فى جنوب أفريقيا وصحراء غرب أستراليا.

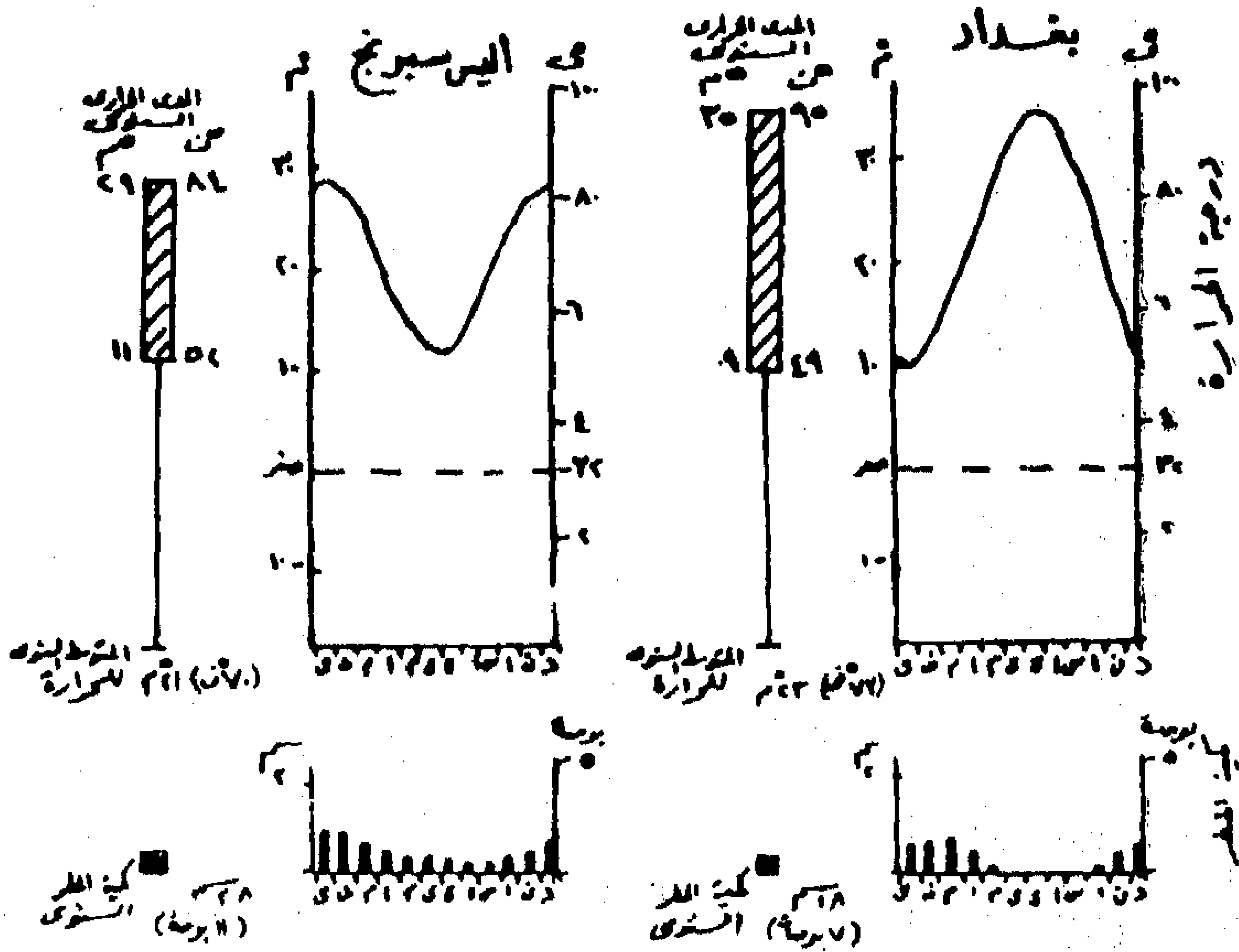
ويلاحظ أن تعبير «حار *Hot*» يرمز الى نطاقات هذا الإقليم المناخى، تمييزاً لها عن الصحارى الباردة *Clod Deserts* فى الإقليم القطبى، ويعزى الفقر النباتى فى الصحارى الحارة الجافة الى ندرة سقوط الأمطار، فى حين يرجع ذلك فى الصحارى الباردة الى إنخفاض درجة الحرارة عن نقطة الندى (الصفر المئوى) معظم شهور السنة.

ولا تتشكل درجة الحرارة فى هذا الإقليم المناخى الصحراوى بإختلاف بعد مواقع أجزائه عن الدائرة الإستوائية فقط، بل أن لمدى إتساع اليابس وحجم السحب فى السماء ونوع التيارات البحرية المجاورة للسواحل أثرها كذلك فى تنوع درجة الحرارة من موقع الى آخر، وترتفع درجة الحرارة إرتفاعاً كبيراً أثناء النهار وخلال أشهر الصيف الشمالى والجنوبى (عند تعامد الشمس على مدار السرطان فى نصف الكرة الشمالى، وعند مدار الجدى فى نصف الكرة الجنوبى) فى حين تنخفض درجة الحرارة إنخفاضاً كبيراً أثناء الليل وخلال أشهر فصل الشتاء. ومن ثم يرتفع المدى الحرارى اليومى والسنوى إرتفاعاً كبيراً فى هذا المناخ ويتصف المناخ هنا بالصفة القارية.

وتمثل البيانات المناخية لكل من مدينة أليس اسبرنج *Alice Springs* فى الولاية الشمالية بأستراليا ومدينة بغداد عاصمة العراق الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى. وتبعاً لوقوع أليس أسبرنج فى نصف الكرة الجنوبى فإن المنحنى الحرارى السنوى تظهر له قمة واضحة فى الصيف الجنوبى تصل الى أعلى ذراها فى شهر يناير (٢٩° م أو ٨٤° ف). ومن ثم فإن المدى

الحراري السنوى يصل هنا الى ١٨ْ م. أما فى بغداد فإن أعلى شهور السنة حرارة يتمثل فى شهر يوليو ٣٥ْ م (٩٥ْ ف) وأبردها فى شهر يناير ٩ْ م (٤٩ْ ف) ومن ثم يصل المدى الحرارى السنوى الى نحو ٢٦ْ م. (شكل ٩٦).

وتعد الأمطار ظاهرة نادرة الحدوث فى هذا الإقليم المناخى، فهى قد تسقط مرة أو مرتين خلال السنة ونادراً ما تزيد كميتها عن ١٠ بوصات سنوياً، وفى بعض أجزاء هذا الإقليم تسقط الأمطار مرة واحدة كل عدة سنوات كما هو الحال بالنسبة لأجزاء واسعة من الصحراء الكبرى فى أفريقيا والصحراء الغربية في مصر. أما بالنسبة لمدينة أليس اسبرنج فى أستراليا فيسقط فوقها ١١ بوصة (٢٨ سم) من المطر سنوياً. وكمية المطر الشهرى قليلة ونادراً ما تزيد عن بوصة واحدة. ويسقط المطر خلال فصل الشتاء (الشمالى) بسبب مرور الإنخفاضات الجوية والرياح العكسية الغربية وخروجها عن مسالكها



(شكل ٩٦) المناخ الصحراوى الحار الجاف ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى أليس اسبرنج (٣٤ْ جنوباً فى أستراليا) وبغداد (٣٣ْ شمالاً فى العراق)

المألوفة وإنحرافها لأسباب ما (التوزيع المحلى لمراكز الضغط الجوى) نحو أطراف هذا الإقليم الصحراوى الحار الجاف، ومن ثم يتميز المطر كذلك بتغير كميته من سنة الى أخرى تغيراً كبيراً.

وحيث إن هذا الإقليم المناخى يمثل مناطق الهواء الهابط *Subsiding air* والإرتفاع الحرارى الذاتى *Adiabatic Warming* وإنخفاض الرطوبة النسبية *Low Relative Humidity* وإرتفاع القيمة الفعلية للنتح والبخر معاً. *Potential Evapotranspiration* وندرة التساقط الشتوى فقد تميز الإقليم بجفافه الشديد، وقلة الرطوبة فى التربة، وندرة وجود الغطاءات النباتية.

ويلخص الجدول الآتى بعض البيانات المناخية التى توضح الإختلافات المناخية الرئيسية بين هذه الأقاليم المناخية الثلاث، والتابعة لمجموعة المناخات المدارية بحسب دراسات الأستاذ كاى جريسول فى عام ١٩٧٢.

الخصائص المناخية	المناخ شبه المدارى الرطب	مناخ إقليم الحشائش المدارية وشبه المدارية	المناخ الصحراوى الحار الجاف
المتوسط السنوى للحرارة	٢٠ ْم (٧٠ ْف)	٢٠ ْم (٧٠ ْف)	٢٠ ْم (٧٠ ْف)
المدى الحرارى السنوى	١٠ ْم (٢٠ ْف)	١٠ ْم (٢٠ ْف)	١٠ ْم (٢٠ ْف)
كمية المطر السنوى	معتدلة ٤٥ بوصة (١١٥ سم)	قليلة ٢٥ بوصة (٦٥ سم)	نادرة ٥ بوصات (١٣ سم)
نصيب الفصل الممطر (من جملة المطر السنوى)	$\frac{1}{3}$ المطر (فى نهاية الصيف)	$\frac{2}{3}$ المطر (صيفاً)	غير منتظم (معظمه شتاء)
نصيب الفصل الجاف (من جملة المطر السنوى)	$\frac{1}{5}$ المطر	—	—

ثالثاً : المناخات المعتدلة

Temperate Climates

١ - مناخ البحر المتوسط *Mediterranean Climate* :

يتمثل هذا المناخ أساساً حول حوض البحر المتوسط الذى نشأت فى أجزاء من نطاقاته الحضارات البشرية القديمة وذلك تبعاً لإعتدال ظروفه المناخية وموقعه فى وسط أو قلب قارات العالم القديم. ويعد هذا الإقليم المناخى من أبرز الأقاليم المناخية التى يمكن تمييزها عن غيرها من الأقاليم الأخرى فى العالم حتى أن الفرد العادى عرف الخصائص المميزة لهذا الإقليم منذ القدم والتى تتلخص فى أنه «حار جاف صيفاً ودفيء ممطر شتاء». ويعزى ذلك الى تأثير أجزاء هذا الإقليم المناخى بالكتل الهوائية القارية والبحرية المدارية صيفاً والقطبية البحرية الرطبة شتاء، وعند تحرك هذه الكتل الرطبة الأخيرة نحو العروض الوسطى ترتفع درجة حرارة هوائها السفلى وتتميز بعدم الإستقرار *Unstable air* ويؤثر هذا فى الإضطرابات الجوية وتقلب الطقس اليومى الشتوى فى إقليم مناخ البحر المتوسط. فى حين تنتقل الكتل الهوائية المدارية الحارة الى العروض العليا ويتعرض الهواء السفلى لهذه الكتل للبرودة ومن ثم تتميز بإستقرارها *Very Stable*.

ويقع هذا الإقليم المناخى فيما بين إقليم مناخ الصحارى الحارة الجافة فى الجنوب، وإقليم المناخ البحرى أو القارى المعتدل فى الشمال، ومن ثم فإن لحركة الشمس الظاهرية فيما بين المدارين وتزحزح نطاقات الضغط والرياح شمالاً وجنوباً مع هذه الحركة أثرها الكبير فى تقلب الطقس الشتوى، وفى تزحزح أبعاد هذا الإقليم المناخى الإنتقالى شمالاً وجنوباً مع حركة الشمس الظاهرية. ويتأثر هذا الإقليم المناخى كذلك بالإنخفاضات الجوية التى تتجه من الغرب الى الشرق مصاحبة للرياح العكسية الغربية، وتسبب سقوط الأمطار

الإعصارية الغزيرة.

ففي فصل الشتاء الشمالى (من ديسمبر الى نهاية فبراير) تهب الرياح العكسية الغربية والإنخفاضات الجوية المصاحبة لها، وتسقط الأمطار الغزيرة خاصة فى المناطق الغربية من الإقليم، وتلك التى تتمثل فيها سلاسل جبلية عالية تمتد عمودية على إتجاه الرياح، وتقل كمية الأمطار الساقطة فى إتجاه الشرق، أما خلال فصل الصيف الشمالى (من مايو الى أغسطس) فتتزحزح الكتل الهوائية القطبية شمالاً مع حركة الشمس الظاهرية عند تعامدها على مدار السرطان خلال هذا الفصل ويحل محلها الهواء المدارى القارى والبحرى الحار. ومن ثم يتميز فصل الصيف بإرتفاع الحرارة وبالجفاف. وحتى عند هبوب الرياح التجارية الشرقية من البحر الى اليابس (كما هو الحال بالنسبة لسواحل مصر الشمالية صيفاً) فلا تسقط هذه الرياح أمطاراً حيث أن الهواء اليابس خلال هذا الفصل يكون أعلى حرارة من الهواء الملامس للمسطحات المائية المجاورة، ومن ثم لا تساعد هذه الظروف على حدوث التكاثف بل يتشتت بخار الماء الى أعلى، ويؤدى ذلك الى إرتفاع نسبة الرطوبة فى الهواء.

وإلى جانب النطاق الرئيسى لهذا الإقليم المناخى فى حوض البحر المتوسط فإنه يتمثل أيضاً بغرب القارات فيما بين دائرتى عرض ٣٠° – ٣٥° شمالاً وجنوباً. ومن أظهر نطاقات هذا الإقليم المناخى القسم الأوسط من السهول الساحلية الغربية لولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية فى نصف الكرة الشمالى وبالقسم الغربى من السهول الساحلية الغربية فى شيلى، والسهول الساحلية الجنوبية الغربية لأفريقيا، والسهول الساحلية الجنوبية الغربية فى أستراليا بنصف الكرة الجنوبى.

وتمثل البيانات المناخية لمدنية روما (بإيطاليا فى نصف الكرة الشمالى) ومدينة برث (جنوب غرب أستراليا فى نصف الكرة الجنوبى) الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى. ومن دراسة هذه البيانات المناخية (شكل ٩٧)،

يلاحظ أن أعلى الشهور حرارة هو شهر يوليو فى روما (٢٤ْ م أى ٧٦ْ ف) وشهر يناير فى برث (٢٣ْ أى ٧٤ْ ف). فى حين أن أبرد شهور السنة حرارة هو شهر يناير فى روما (٧ْ م أى ٤٥ْ ف) وشهر يوليو فى برث (١٣ْ م أى ٥٥ْ ف) ومن ثم يتراوح المدى الحرارى السنوى من ١٠ْ الى ١٧ْ م. وتبلغ كمية المطر السنوى نحو ٩٣ سم (٣٣ بوصة) فى روما ونحو ٨٦ سم (٣٤ بوصة) فى برث. ويعزى ذلك الى إتساع المسطحات المائية التى تحيط بجنوب غرب أستراليا بمقارنتها بشبه جزيرة إيطاليا. ومن ثم فإن الفصل الرطب فى مناخ البحر المتوسط فى نصف الكرة الشمالى يتمثل فى الفترة الممتدة من أول أكتوبر حتى نهاية ديسمبر ويسقط هنا نحو ٧٠ ٪ من كمية المطر السنوى، فى حين يمتد فى نصف الكرة الجنوبى من أول يونيو حتى نهاية سبتمبر، ويسقط هنا أكثر من ٨٠ ٪ من جملة المطر السنوى. وتتفق القمة الحرارية العليا (خلال نهاية يوليو فى نصف الكرة الشمالى) مع الفصل الجاف، وتسقط الأمطار خلال الفصل الشتوى البارد (شكل ٩٧).

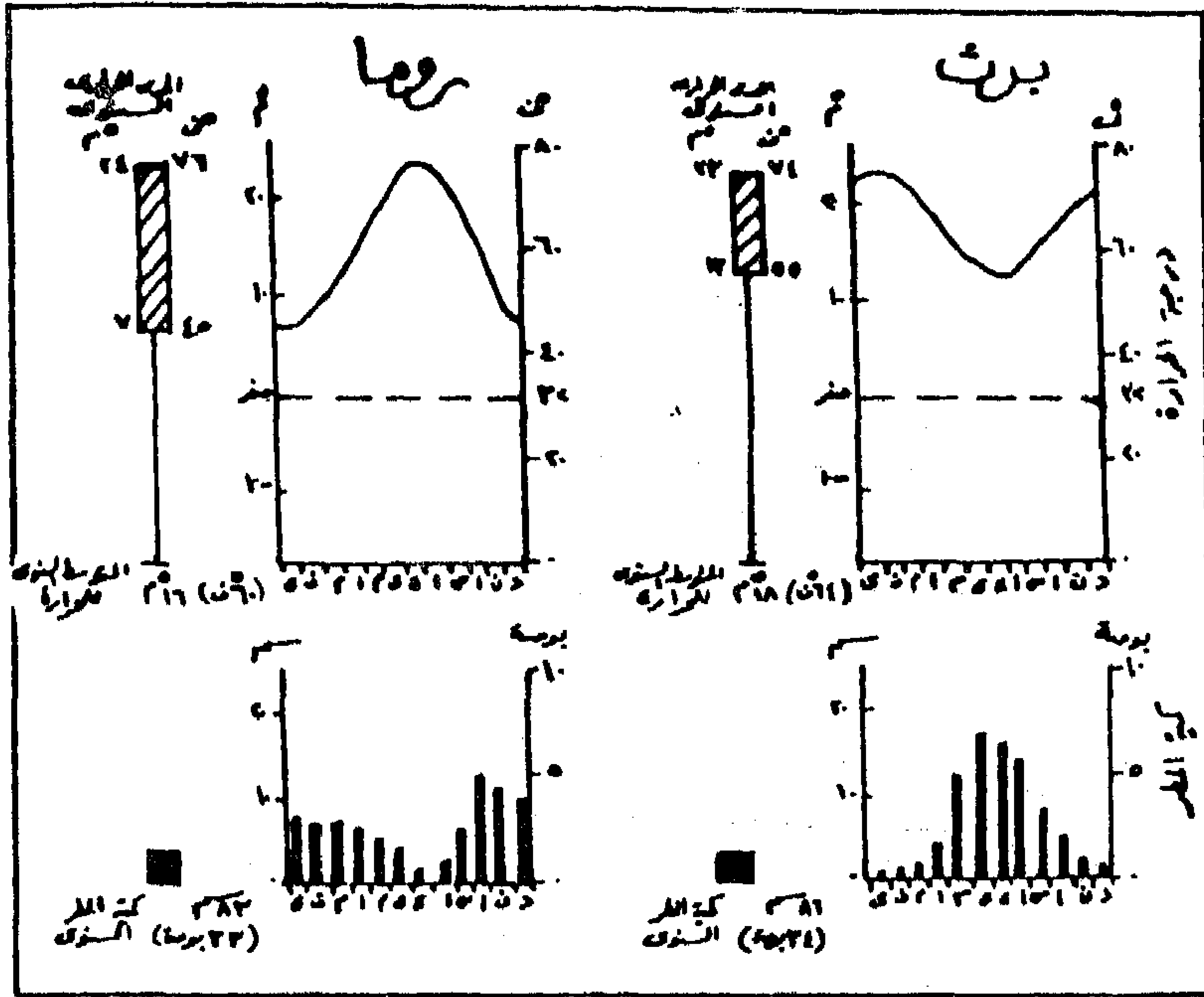
٢ - المناخ المعتدل البحرى *Marine Temperate Climate* :

تتميز أراضى هذا الإقليم المناخى بإقترابها من المسطحات المائية المجاورة لها وتشكيلها بالمؤثرات البحرية. وكلما بعدت أراضى هذا الإقليم عن البحر المجاور تقل كمية الأمطار الساقطة ويزداد المدى الحرارى السنوى. وتتنوع كثافة الغطاءات النباتية مع كمية الأمطار الساقطة، ومن ثم تنمو الحشائش المعتدلة (الإستبس) فى المناطق الشرقية من هذا الإقليم والبعيدة عن المؤثرات البحرية.

وأهم ما يميز هذا الإقليم مناخياً هو تغير طقسه من مكان الى آخر بل ومن ساعة الى ساعة أخرى فى نفس المكان الواحد، ومن ثم يرى البعض أن هذا النوع من المناخ من الصعب تصنيفه «كمناخ» بل هو عبارة عن تتباع أيام متعاقبة ذات طقس متنوع [1].

---

(1) Gresswell, K. P., "Physical geography", Longman (1972), p. 75.



(شكل ٩٧) مناخ إقليم البحر المتوسط ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى روما (٤٢ْ شمالاً فى إيطاليا) وبرث (٣٢ْ جنوباً فى أستراليا)

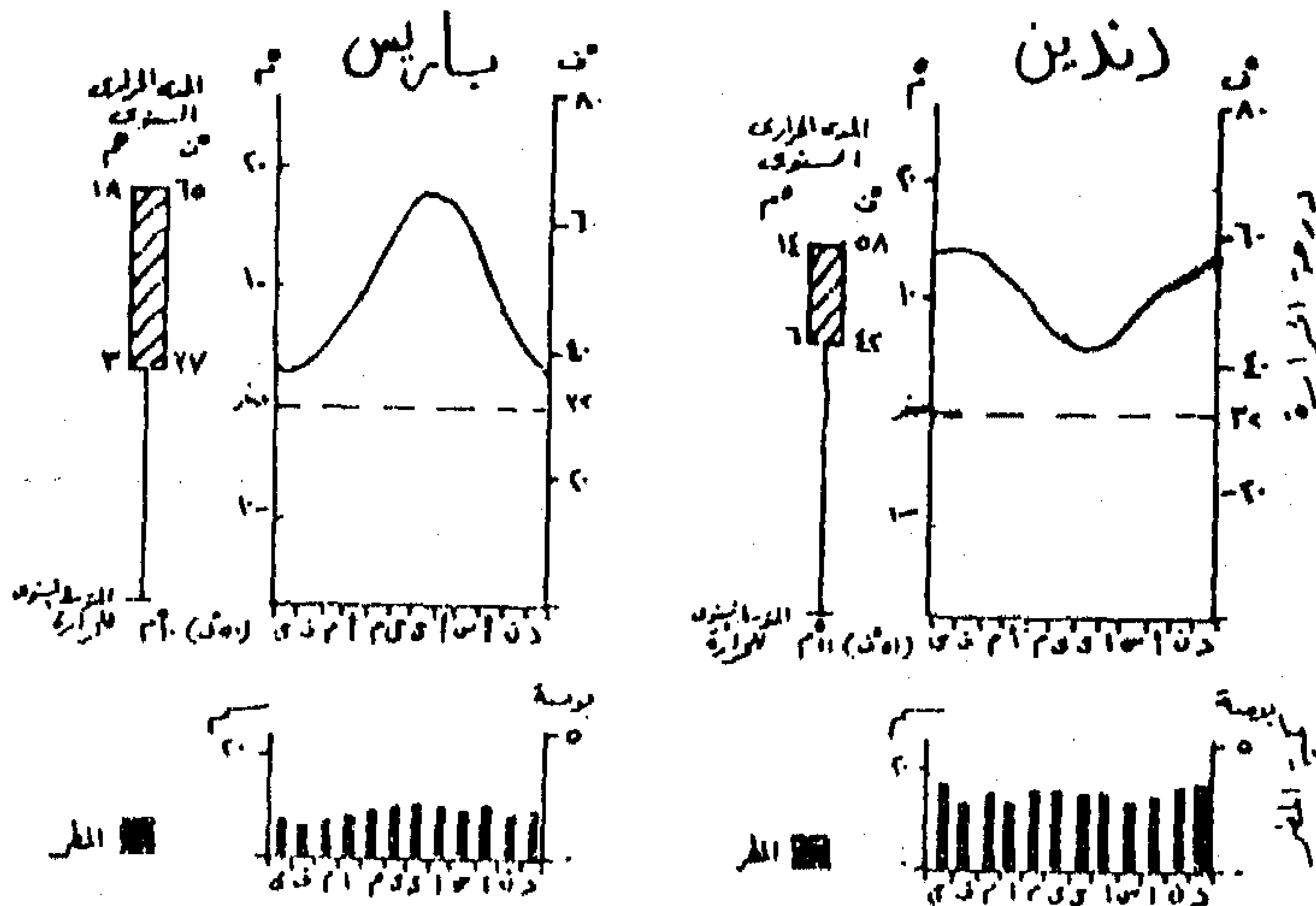
"... not to be a climate at all, but merely a succession of days with different weather".

ويرجع ذلك الى أن نطاق هذا الإقليم يعد منطقة تلاقى كلاً من الكتل الهوائية الباردة مع الكتل الهوائية المدارية البحرية، ومن ثم تتكون الجبهات شبه القطبية *Subpolar Fronts* ويحدث على طولها إمتلاء الإنخفاضات الجوية. *Cyclonic Depressions* وتسقط الأمطار هنا طول العام إلا أنها تزداد نسبياً خلال فصل الشتاء.

ويتمثل المناخ البحرى المعتدل (مناخ غرب أوربا) فى الجزر البريطانية والنطاق الغربى من القارة الأوربية فيما بين شمال أسبانيا جنوباً حتى بولندا وجنوب السويد شمالاً. كما تظهر نطاقاته فى أمريكا الشمالية على طول

السهول الساحلية الغربية لكندا. كما تتمثل أجزاء منه على طول السهول الساحلية الجنوبية الغربية لشيلى فيما بين دائرتى عرض ٤٠° - ٥٠° جنوباً وعند الركن الجنوبى الشرقى من أستراليا وجزيرة تسمانيا وجزر نيوزيلندا.

وتمثل البيانات المناخية لمحطتى باريس (فى نصف الكرة الشمالى) ودندين (فى نيوزيلند بنصف الكرة الجنوبى) الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى. ويتضح أن القمة الحرارية العظمى فى باريس تتمثل فى شهر يوليو حيث تصل الى نحو ٣° م (٣٧° ف) ومن ثم فإن المدى الحرارى يصل الى نحو ١٦° م، فى حين أن المتوسط السنوى لدرجة الحرارة يبلغ ١٠° م (٥٠° ف). وتسقط الأمطار طول العام وتزداد نسبياً فى فصل الشتاء، وتبلغ كمية المطر السنوى نحو ٥٧ سم (٢٣ بوصة) والمعدل الشهرى لكمية المطر الساقط تبلغ نحو ٢ بوصة (شكل ٩٨).



(شكل ٩٨) المناخ المعتدل البحرى فى بعض البيانات المناخية لمحطتى باريس (٤٨° شمالاً فى فرنسا) ودندين (٤٦° جنوباً فى نيوزيلندا)

أما بالنسبة لمدينة دندين فى جزر نيوزيلندا بنصف الكرة الجنوبى فيلاحظ أن أعالى القمة الحرارية لمنحنى السنوى فيها تتمثل فى شهر يناير (١٤ْ م أى ٥٨ْ ف) . ويعد شهر يوليو هو أبرد شهور السنة حيث تبلغ متوسط درجة حرارته ٦ْ م (٤٢ْ ف) ومن ثم فإن المدى الحرارى السنوى يبلغ هنا نحو ٨ْ م، ويصل المتوسط السنوى لدرجة الحرارة الى نحو ١١ْ م (٥١ْ ف) . وتسقط الأمطار هنا طول العام كذلك بفعل الرياح العكسية الغربية والإنخفاضات المصاحبة لها، وتبلغ كمية المطر السنوى نحو ٩٤ سم (٣٧ بوصة) .

وبمقارنة البيانات المناخية لبعض محطات الأرصاد الجوية الواقعة داخل نطاق هذا الإقليم المناخى يتبين أن المتوسط السنوى لدرجة الحرارة يتراوح من ٩ْ الى ١١ْ م (٤٨ْ ف الى ٥٢ْ ف) ويزداد المدى الحرارى السنوى مع إنخفاض كمية الأمطار الساقطة أى كلما بعد المكان عن تأثير المؤثرات البحرية كما يتضح ذلك أيضاً من بيانات الجدول الآتى (١) :

المحطات المناخية	البعد عن المسطحات البحرية		المتوسط السنوى للحرارة		المدى الحرارى السنوى		كمية المطر السنوى	
	ميل	كم	م	ف	م	ف	بوصة	سم
فالنسيا	-	-	١١	٥١	٨	١٥	٥٦	١٤٢
لندن	٢٥٠	٤٠٠	١١	٥١	١٣	٢٤	٢٥	٦٤
باريس	٢٥٠	٤٠٠	١٠	٥٠	١٦	٢٨	٢٣	٥٨
همبورج	٧٠٠	١١٠٠	٩	٤٨	١٨	٣٨	٢٩	٧٤
برلين	٨٥٠	١٣٥٠	٩	٤٨	٢٠	٣٦	٢٣	٥٨
فيينا	٩٠٠	١٥٤٠	٩	٤٩	٢٢	٣٩	٢٥	٦٤
بلغراد	١٢٠٠	١٩٠٠	١١	٥٢	٢٤	٤٣	٢٤	٦١
بوخارست	١٥٠٠	٢٤٠٠	١١	٥١	٢٦	٤٧	٢٣	٥٨
أوديسا	١٧٠٠	٢٧٠٠	٩	٤٩	٢٧	٤٨	١٦	٤١
استراخان	٢٥٠٠	٤٠٠٠	٩	٤٩	٣٢	٥٨	٦	١٥

(١) المرجع السابق ص ٧٦

٣ - المناخ القارى المعتدل *Continental temperate Climate* :

يعد الإختلاف الأساسى بين كل من المناخ القارى المعتدل والمناخ البحرى المعتدل الذى سبقت الإشارة إليه من قبل هو أن المدى الحرارى السنوى هنا يعد مرتفعاً بل يصل الى ضعف مقدار المدى الحرارى السنوى فى المناخ البحرى المعتدل. ويرجع ذلك الى بعد نطاق هذا الإقليم المناخى عن المؤثرات البحرية من جهة والى قلة تأثره بالرياح الرطبة الآتية من البحر الى اليابس من جهة أخرى ومن ثم يتمثل هذا الإقليم المناخى فى منطقتين أساسيتين هما :

أ - المناطق الداخلية من القارات كما هو الحال فى شرق أوربا، وإمتداد هذا النطاق شرقاً فى أراضى روسيا الاسيوية.

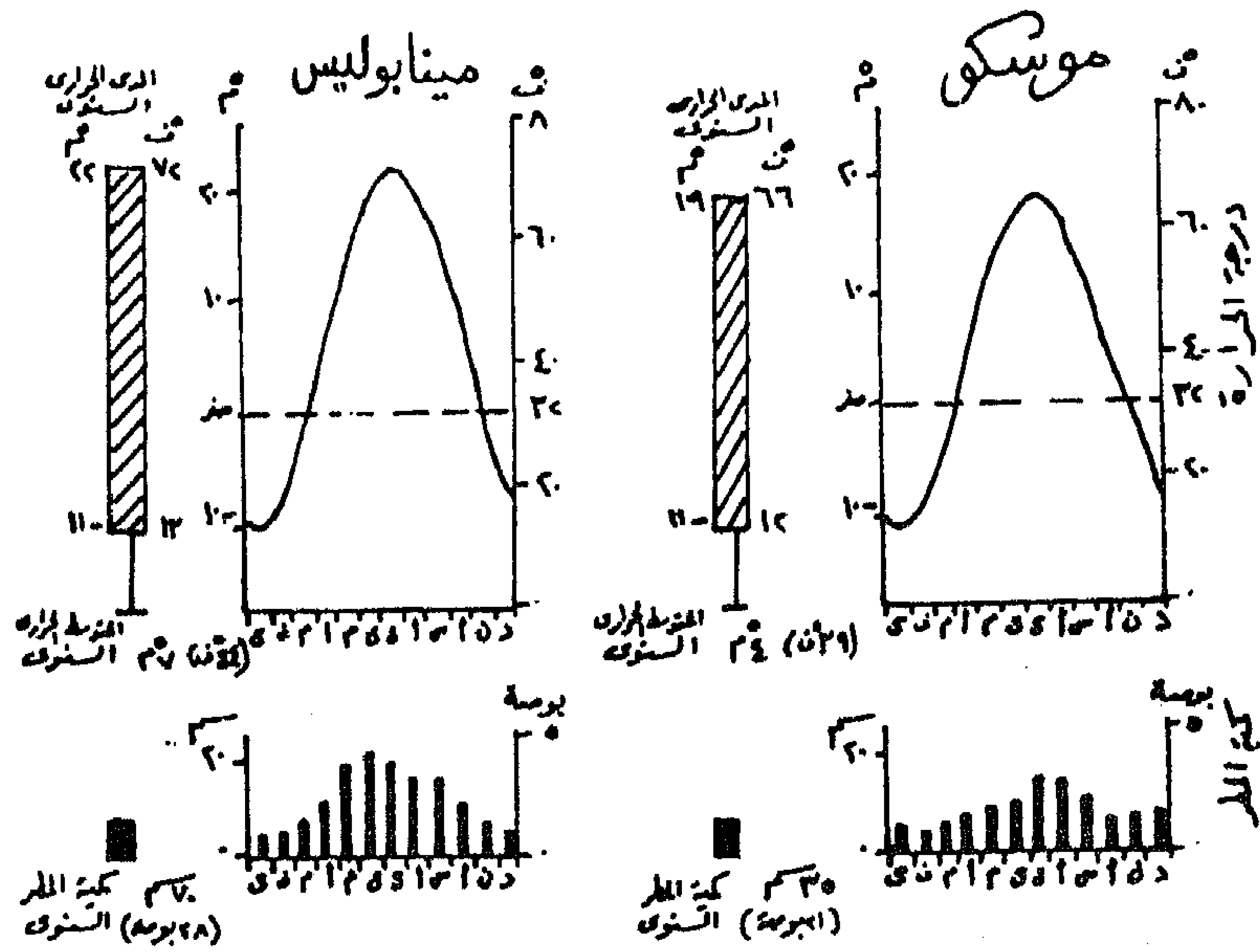
ب - المناطق الشرقية من القارات خاصة فى شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية وكندا، فيما بين دائرتى عرض ٤٠° - ٥٠° شمالاً، وإلى الشرق من خط طول ٩٥° غرباً. كما يتمثل هذا الإقليم المناخى فى منشوريا وشبه جزيرة كوريا.

ويقع هذا الإقليم المناخى تحت تأثير الكتل الهوائية القطبية القارية الشتوية، والكتل الهوائية المدارية البحرية الصيفية، ولكن يقل فيه حدوث الإنخفاضات الجوية بالنسبة لحدوثها فى الإقليم البحرى المعتدل ونتيجة لتعرض أجزاء هذا الإقليم للكتل الهوائية الباردة لفترة طويلة خلال السنة فيقل حدوث الإنخفاضات الجوية تبعاً لإستقرار الهواء ولندرة تقابل الكتل الهوائية المختلفة الخصائص الطبيعية، فى حين تكثر فيه حدوث النوات الطقسية الباردة *Cold spells of weather* التى تأتى من قدوم الكتل الهوائية القطبية الباردة. ومن ثم تتكون فوق هذه المناطق مراكز من الضغط المرتفع أو ما يعرف باسم طقس أضداد الأعاصير *Anticyclonic weather*.

وتمثل البيانات المناخية لكل من مينا بوليس بولاية منسوتا

Minnespolis-Minnesota, ، وموسكو *Moscow* عاصمة روسيا الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى. ومن دراسة المنحنى الحرارى لمدينة مينا بوليس يتضح أن له قمة حرارية عليا تصل ذروتها فى شهر يوليو حيث تبلغ درجة الحرارة هذا الشهر نحو ٢٢° م (٧٢° ف). فى حين يعد شهر يناير أبرد شهور السنة، وتصل درجة حرارته الى نحو - ١١° م (١٣° ف). ومن ثم فإن المدى الحرارى كبير حيث يصل الى ٥٩° ف وإن المتوسط السنوى لدرجة الحرارة ٥٧° م (٢٤° ف). ويلاحظ أن درجة الحرارة تقل عن الصفر المئوى (٣٢° ف) خلال خمسة أشهر من بينها أشهر الشتاء (من بداية نوفمبر حتى نهاية مارس) وتغزر كمية الأمطار الساقطة مع الفصل الصيفى المرتفع الحرارة حيث تسجل أغزر الشهور مطراً خلال الفترة من مايو الى نهاية أغسطس حيث يسقط هنا نحو ٥٠ ٪ من جملة كمية المطر السنوى التى تبلغ ٢٨ بوصة (٧٠ سم) ويصل معدل المطر الشتوى خلال هذه الفترة الغزيرة المطر نحو ٤ بوصات، فى حين معدل المطر الشهرى خلال بقية أشهر السنة نحو ١,٥ بوصة (شكل ٩٩).

ومن دراسة المنحنى الحرارى لمدينة موسكو يتضح أن له قمة حرارية عليا تصل ذروتها كذلك فى شهر يوليو حيث تبلغ درجة حرارة هذا الشهر نحو ١٩° م (٦٦° ف) فى حين يعد شهر يناير كذلك هو أبرد شهور السنة، وتصل درجة حرارته الى نحو - ١١° م (١٣° ف)، ومن ثم فإن المدى الحرارى السنوى كبير حيث يصل الى ٥٤° ف، وإن المتوسط السنوى لدرجة الحرارة يصل الى ٤° م (٣٩° ف)، ويلاحظ أن درجة الحرارة تنخفض عن الصفر المئوى لمدة ٦ أشهر فى السنة، تمتد من أول أكتوبر حتى نهاية مارس. وتسقط الأمطار طول العام ولكنها تزداد نسبياً خلال الفترة من يونيو الى سبتمبر. وتبلغ كمية المطر السنوى نحو ٥٣ سم (٢١ بوصة) ويبلغ المعدل الشهرى لكمية المطر نحو ٤,٥ سم.



(شكل ٩٩) المناخ القارى المعتدل فى بعض البيانات المناخية
لمحطتى مينابوليس فى منيسوتا (٤٥ْ شمالاً فى الولايات المتحدة الأمريكية)
وموسكو (٥٦ْ شمالاً فى روسيا)

٤ - مناخ إقليم الحشائش المعتدلة :

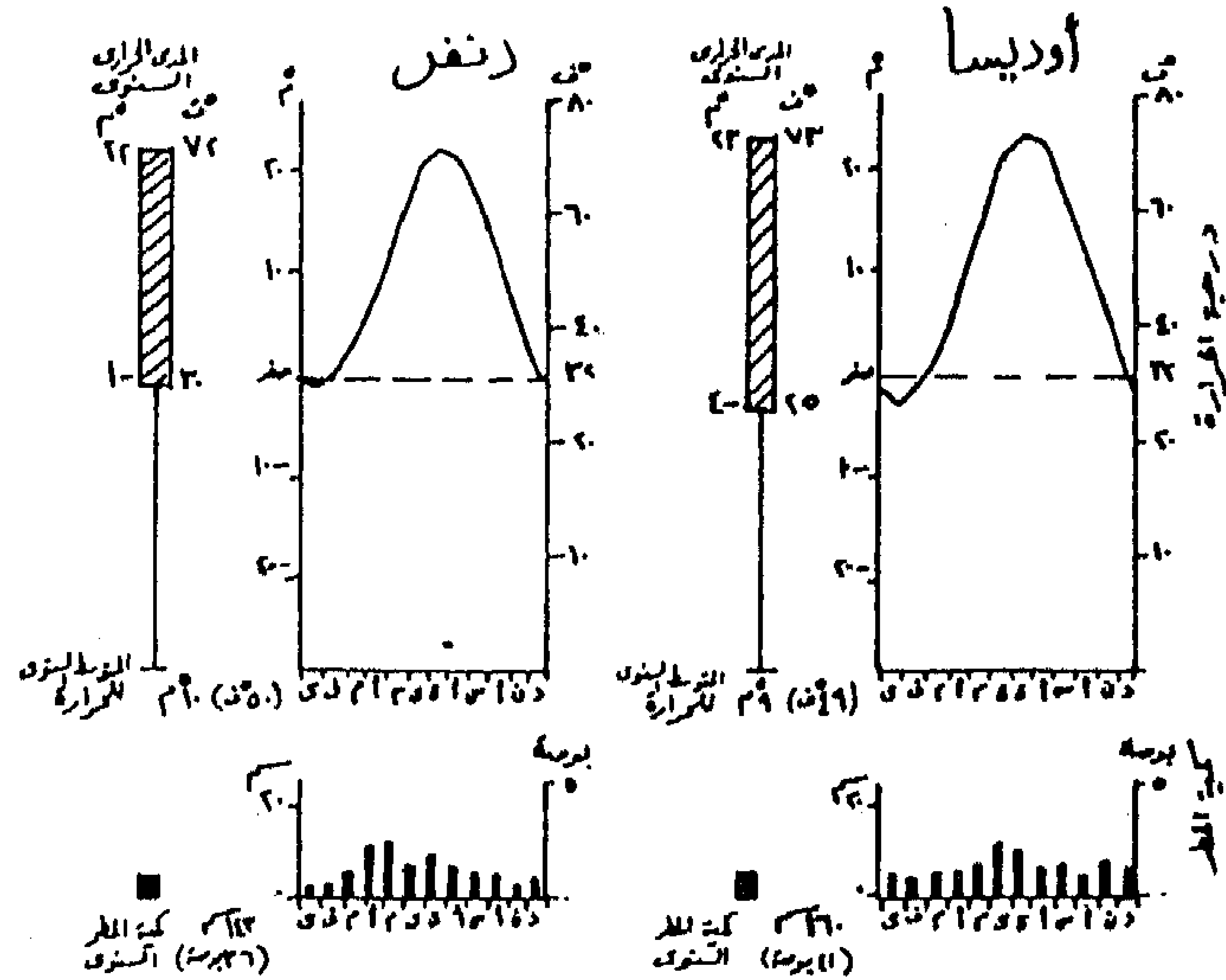
Temperate grassland Climate

يعد هذا الإقليم المناخى أجف أنواع مجموعة المناخات المعتدلة تبعاً لتطرف موقعه بعيداً عن المؤثرات البحرية، ووصول الرياح إليه شبه جافة، ومن ثم تساهم الأمطار القليلة الساقطة فى نمو حشائش قصيرة لينة تعرف باسم الإستبس. ومن هنا إكتسب هذا الإقليم المناخى تسميته من خصائص النباتات الطبيعية الممثلة فيه. وتتمثل أبعاد هذا الإقليم فى أواسط أمريكا الشمالية فيما بين مرتفعات الروكى فى الغرب وإقليم المناخ القارى المعتدل فى روسيا حيث يمتد هذا النطاق الكبير من البحر الأسود فى الغرب حتى أواسط آسيا. أما فى نصف الكرة الجنوبى فتظهر نطاقات هذا الإقليم فى جنوب الأرجنتين وجنوب شرق أستراليا. وتمثل البيانات المناخية لكل من مدينة دنفر *Denver* بولاية كلورادو بالولايات المتحدة الأمريكية ومدينة

أوديسا *Odessa* بروسيا (عند دائرة عرض ٤٧ْ شمالاً) الخصائص العامة لهذا الإقليم المناخى. وتتشابه القيم البيانية المناخية لهاتين المدينتين فيما عدا أن درجة حرارة الشتاء فى أوديسا أبرد منها فى دنفر حيث تقل عن الصفر المئوى خلال أشهر ديسمبر حتى نهاية فبراير. ويلاحظ أن المنحنى الحرارى السنوى لمدينة دنفر له قمة حرارية صيفية كبرى تصل ذروتها خلال شهر يوليو حيث تبلغ درجة حرارة هذا الشهر نحو ٢٢ْ م (٧٢ْ ف)، ويعد شهر يناير هو أبرد شهور السنة حيث تصل درجة حرارته الى - ١ْ م (٣٠ْ ف)، ومن ثم فإن المدى الحرارى السنوى يصل الى نحو ٤٢ْ ف، والمتوسط السنوى للحرارة نحو ١٠ْ م (٥٠ْ ف) ويبلغ فى أوديسا نحو ٤٩ْ ف. ويسقط المطر طول العام إلا أنه يسقط بكميات قليلة حيث تبلغ كمية المطر السنوى فوق دنفر نحو ١٤٣ سم (٣٦ بوصة). وتعد أشهر الصيف أغزر شهور السنة مطراً، وقد تسقط هنا بعض الأمطار الإنقلابية خلال هذه الفترة من السنة (شكل ١٠٠). ويلخص الجدول الآتى بعض البيانات المناخية التى توضح الإختلافات المناخية الرئيسية بين الأقاليم المناخية الثانوية لمجموعة المناخات المعتدلة [1].

الخصائص المناخية	مناخ البحر المتوسط	المناخ البحرى المعتدل	المناخ القارى المعتدل	مناخ الحشائش المعتدلة
المتوسط السنوى للحرارة.	١٥ْم (٦٠ْ ف)	١٠ْ م (٥٠ْ ف)	٧ْ (٤٥ْ ف)	٧ْ م (٤٥ْ ف)
المدى الحرارى السنوى	١٠ْ م (٥٠ْ ف)	١٠ْ م (٥٠ْ ف)	٢٥ْ م (٧٧ْ ف)	٢٥ْ م (٧٧ْ ف)
كمية المطر السنوى	قليلة ٢٠ بوصة (٥٠ سم)	معتدلة ٣٠ بوصة (٧٥ سم)	معتدلة ٢٥ بوصة (٦٠ سم)	قليلة ٢٠ بوصة (٥٠ سم)
نصيب الفصل الممطر (من المطر السنوى)	١/٢ كمية المطر السنوى (شتاء)	١/٢ كمية المطر (نهاية الصيف)	٢/٥ المطر السنوى (نهاية الصيف)	١/٢ المطر السنوى (بداية الصيف)
نصيب الفصل الجاف (من المطر السنوى)	١/٢٠ من المطر (نهاية الصيف)	١/٤ المطر السنوى (متنوع)	١/٨ المطر السنوى (شتاء)	[illegible] السنوى (شتاء)

(1) Gresswell. K.R.. "Physical geography" Longman (1972). p.87



(شكل ١٠٠) مناخ إقليم الحشائش المعتدلة مثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى دنفر (٤٧ْ شمالاً فى ولاية كلورادو) وأوديسا (٤٧ْ شمالاً فى روسيا)

رابعاً : المناخات القطبية

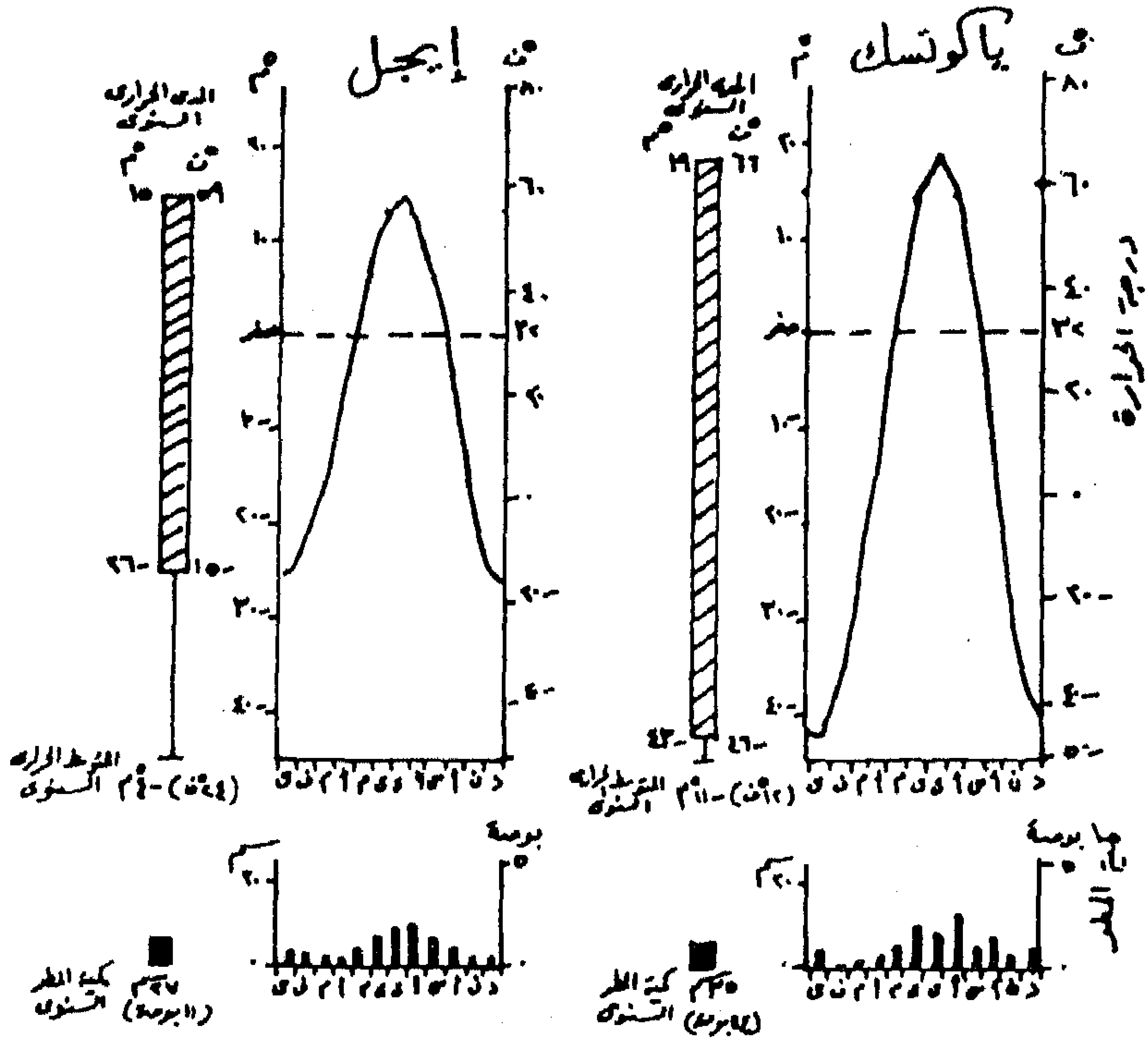
١ - المناخ البارد (أو شبه القطبى) :

نتيجة لزيادة إتساع القسم الشمالى من أمريكا الشمالية والقسم الشمالى من قارة أوراسيا، تقع مناطق واسعة من العروض العليا من سطح الأرض بعيدة عن المؤثرات البحرية، وتتميز بشدة برودتها خاصة خلال فصل الشتاء وتتغطى مناطق واسعة من هذا النطاق بالثلج وكثيراً ما تكون الأرض نفسها شبه متجمدة *Frozen grounds* خلال فصل الشتاء (الشمالى) . ويتمثل فوق هذه المناطق مراكز نشوء الكتل الهوائية القطبية التى تتميز بجفاف هوائها وببرودته وبإستقراره، ويتعرض هذا الإقليم للرياح الخفيفة *Light Winds* والتساقط القليل وتتغطى السماء بكميات محدودة من السحب.

ويمتد إقليم المناخ البارد على شكل نطاق متكامل الأجزاء من النصف الجنوبي لشبه جزيرة آلاسكا غرباً حتى الأراضي الكندية وجنوب خليج هدسن وهضبة لبرادور شرقاً. ويلاحظ أن شبه جزيرة نوفاسكوتشيا تدخل ضمن هذا النطاق المناخي البارد على الرغم من إعتدال مناخها نسبياً نظراً لتشكيله بالمؤثرات البحرية المجاورة. أما نطاق هذا المناخ في قارة أوربا فيشغل معظم القسم الشمالي من فنلنده، ويمتد نطاقه من جنوب البحر الأبيض الروسي *White sea* ويمتد شرقاً من بين دائرتي عرض ٥٠° - ٦٠° شمالاً، ويمر عبر إقليم أومسك ويستمر النطاق شرقاً حتى الحدود المنغولية وشبه جزيرة كمتشتكا في شمال شرق آسيا.

وتمثل البيانات المناخية لمدينة إيجل *Eagle* (على الحدود بين شبه جزيرة آلاسكا وكندا) ومدينة ياكوتسك *Yakutsk* في شرق القسم الأوسط من سيبيريا الخصائص المناخية العامة لهذا الإقليم. فيبلغ المتوسط الحراري السنوي لمدينة «إيجل» - ٤° م (٢٤° ف) وللمنحنى الحراري السنوي لهذه المدينة قمة حرارية تبلغ ذراها شهر يوليو حيث تصل درجة حرارته الى نحو ١٥° م (٥٩° ف). ويعد شهر يناير أبرد شهور السنة حيث تبلغ درجة حرارته -٢٦° م. ومن ثم فإن المدى الحراري السنوي هنا يصل الى نحو ٤١° م. ويعد نصف السنة الشتوي (من أول أكتوبر حتى نهاية مارس) بارداً حيث تنخفض الحرارة فيه عن درجة التجمد. والأمطار هنا قليلة جداً إلا أنها تسقط طول العام حيث تبلغ كمية المطر السنوي ٢٧ سم (١١ بوصة) ويسقط معظمها خلال بعض أشهر الصيف (يونيو ويوليو وأغسطس) حيث يبلغ نصيب هذه الفترة أكثر من ٤٠٪ من جملة كمية المطر السنوي (شكل ١٠١).

أما بالنسبة لمدينة ياكوتسك فيعد المناخ هنا أكثر قارياً نسبياً حيث لا ترتفع درجة الحرارة فوق الصفر المئوي إلا في خمسة شهور فقط من أشهر الصيف (خلال الفترة من أبريل الى أغسطس). ويبلغ المتوسط الحراري السنوي لهذه المدينة نحو - ١١° م (١٢° ف). ومن دراسة المنحنى الحراري لمدينة ياكوتسك



(شكل ١٠١) المناخ شبه القطبى ممثلاً فى بعض البيانات المناخية لمحطتى إيجل (٦٥ْ شمالاً فى ألاسكا) وياكوتسك (٦٢ْ شمالاً فى روسيا)

يتضح أيضاً وجود قمة حرارية عظمى تسجل أعاليها خلال شهر يوليو حيث تصل الى ١٩ْ م (٦٦ْ ف). فى حين يعد شهر يناير أبرد شهور السنة وتبلغ حرارته - ٤٣ْ م. ومن ثم فإن المدى الحرارى السنوى هنا يصل الى نحو ٦٢ْ م (١٢٢ْ ف). ويتشابه نظام سقوط المطر فوق ياكوتسك كمثل نظامه فوق مدينة «إيجل»، ولكن تبلغ كمية المطر السنوى هنا الى نحو ٣٤ سم (١٤ بوصة) ويسقط معظمها صيفاً، ويلاحظ أن معظم التساقط هنا يظهر على شكل ثلج.

٢ - المناخ القطبى :

يضم هذا المناخ أقصى الأجزاء الشمالية من كندا ومن أراضى روسيا

وجزيرة جرينلاند والتى تقع فيما وراء دائرة العرض القطبية ٦٦,٥ْ شمالاً، ولا تقتصر البرودة الشديدة وإنخفاض درجة الحرارة هنا على فصل الشتاء فقط، بل تنخفض درجة الحرارة عن الصفر المئوى خلال فصل الصيف أيضاً. وعند هذه العروض العليا تتأثر أجزاء هذا الإقليم بالمؤثرات المحيطية القطبية المجاورة، وبالكتل الهوائية القطبية الباردة. وحيث يقع نطاق هذا الإقليم داخل دائرة العرض القطبية فإن طول النهار خلال فصل الصيف الشمالي يبلغ هنا ٢٤ ساعة يومياً، فى حين يبلغ طول الليل خلال فصل الشتاء ٢٤ ساعة يومياً كذلك. وتسقط أشعة الشمس مائلة فوق سطح هذه الأقاليم بحيث تكون زاوية سقوطها نحو ٥٠ْ خلال فصل الصيف ونحو ٩٨ْ خلال فصل الشتاء، ومن ثم فإن شدة الأشعة الشمسية (بالنسبة للأشعة العمودية عند خط الإستواء وتساوى ١) تكون نحو ٠,٦ خلال فصل الصيف و «صفر» خلال فصل الشتاء.

ومن ثم يتبين أن مدينة سبتزبرجن *Siptsbregen* فى النرويج تتعرض للهواء البارد إبتداء من شهر يوليو (تبلغ عنده درجة الحرارة نحو ٦ْ م أى ٤٢ْ ف) . أما بالنسبة لفصل الشتاء فلا تظهر فيه إطلاقاً أشعة الشمس. ونتيجة لسطوع أشعة الشمس بصورة مستمرة لمدة ٢٤ ساعة يومياً خلال فترة الصيف فقد أدى الى إرتفاع درجة الحرارة (٦ْ) على الرغم من أن قوة هذه الأشعة الشمسية الساقطة تعد ضعيفة. ومن ثم يصل المدى الحرارى السنوى هنا الى نحو ٢٤ْ م. أما بالنسبة للتساقط فهو هنا يتمثل على شكل ثلج بصورة كلية، وتصل كميته الى ما يتناسب مع ١٢ بوصة (٣٠ سم) من المطر سنوياً. ويحدث معظم التساقط خلال فصل الشتاء.

٣ – مناخ أقاليم الغطاءات والقلنسوات الثلجية :

الى جانب أن هذا الإقليم المناخى هو الآخر يعد شديدة البرودة طول العام، وأن درجة حرارة الهواء هى دائماً أقل من الصفر المئوى، فإن المعلومات المناخية الخاصة بالتفاصيل الدقيقة لهذا المناخ تعد محدودة تبعاً لنقص عدد محطات الأرصاد الجوية فى هذا الإقليم، وإن وجدت فمعظمها حديث العمر،

حيث لا يرجع عمر قراءات بياناتها الطقسية الى أكثر من عشرات السنين فقط.

ويتمثل هذا الإقليم المناخى بالقسم الأوسط من جزيرة جرينلاند حيث تتغطى الأرض بالقلنسوات الثلجية طول أيام السنة. وعلى ذلك فإن أسطح هذا الإقليم المناخى متجمدة دائماً *Permafrost*. ويعزى ذلك الى تجمد المياه الجوفية فى التربة والمياه المتجمدة داخل الشقوق الصخرية، حتى أن هذه المياه لا تتعرض للإنصهار أو الذوبان خلال فصل الصيف تبعاً لشدة برودته هو الآخر. وحتى إذا حدث وإنسابت بعض المياه السطحية فى هذا الإقليم فإنها تجرى فوق أراضى متجمدة.

وقد تتعرض بعض أجزاء ساحلية من هذا الإقليم المناخى لتيارات بحرية دفيئة يساعد الهواء الساخن الملامس لها على إنصهار المياه المتجمدة فى التربة، ولكن يتم هذا الإنصهار فى التربة السطحية بسمك لا يزيد عن ياردة واحدة فقط من سطح الأرض، ومع ذلك تظل التربة تحت السفلية فى حالة التجمد، وقد ساعد تجمد التربة السفلية على إستغلال طبقات فحم سبتزبرجن الجيد، تبعاً لجفافه وعدم إختلاطه بمياه جوفية.

ومن الصعب تحديد سمك التربة والأراضى المتجمدة فى هذا الإقليم، إلا أن العلماء قد أكدوا بأن هذا السمك لا يقل عن ١٠٠٠ قدم (٣٠٠ متر) من سطح الأرض. بالنسبة لكل أجزاء هذا الإقليم المناخى القطبى. ويلخص الجدول الآتى بعض البيانات المناخية التى توضح الخصائص المناخية العامة للإقليمين المناخيين شبه القطبى والقطبى (١).

---

(١) المرجع السابق، ص ٩٢.

الخصائص المناخية	الإقليم شبه القطبى	الإقليم القطبى
المتوسط السنوى لدرجة الحرارة.	- ١ْ م (٣٠ْ ف)	- ٧ْ م (٢٠ْ ف)
المدى الحرارى السنوى.	٣٥ْ م (٦٠ْ ف)	٢٥ْ م (٧٧ْ ف)
كمية المطر السنوى.	قليلة ١٠ بوصات (٢٥ سم)	قليلة ١٠ بوصات (٢٥ سم)
نصيب الفصل الممطر.	١/٢ كمية المطر (صيفاً)	٢/٥ كمية المطر (شتاء) ١/٢ كمية المطر (صيفاً)
نصيب الفصل الجاف.	١/٨ كمية المطر (بداية الصيف)	

التغيرات المناخية

لا يقتصر تنوع المناخ على إختلافه من مكان الى آخر على سطح الأرض خلال الوقت الحاضر، بل أكد العلماء تنوع المناخ من فترة زمنية الى أخرى خلال التاريخ الجيولوجى الطويل لقشرة الأرض. وعرف العلماء حدوث الذبذبات المناخية المتعاقبة واحدة بعد الأخرى من دراستهم لبقايا الحفريات النباتية والحيوانية ومعرفة الظروف البيئية التى كانت تعيش فيها. هذا الى جانب ما ينتج عن هذه التغيرات المناخية من تشكيل مباشر للتجوية ولعوامل التعرية المختلفة التى تترك بدورها طابعها وبقايا تأثيراتها فى الأماكن التى كانت تعمل فيها (١).

وقد أكدت الدراسات الجيولوجية تعرض سطح الأرض لمناخ شديد البرودة جداً نتج عنه تكوين غطاءات جليدية كبرى.

وقد حدثت هذه «العصور الجليدية» خلال فترات مختلفة من التاريخ الجيولوجى الطويل ومن أقدمها فترة جليد ما قبل الكمبرى *Pre-Cambrian*

---

(١) أ - د. حسن ابو العينين «كوكب الأرض» الطبعة الحادية عشرة - الاسكندرية (١٩٩٦).
ب - د. حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» الطبعة الحادية عشرة - الاسكندرية (١٩٩٥).

Glaciation والتى حدثت منذ أكثر من ٨٠٠ مليون سنة مضت. وقد إكتشفت بقايا حفريات هذا العصر الجليدى القديم فى العروض الدنيا الحالية، كما عثر الباحثون على بقاياها المعروفة باسم حفريات *Tillites* فى بعض أجزاء من غرب أستراليا. كما إكتشف الجيولوجيون تعرض سطح الأرض لمناخ جليدى شديد القسوة خلال العصر الكربونى الأدنى *Late-Carboniferous Glaciation* تركز هو الآخر فى العروض الوسطى والعليا من سطح الكرة الأرضية، وقد إكتشف الجيولوجيون رواسب «الديكا» الجليدية الكربونية *Dywka Boulder-Bed* فى جنوب قارة أفريقيا وشرق البرازيل وقد استفاد العالم فجنر *Wegner* من هذه الحقيقة وأثبت أن شرق البرازيل وجنوب أفريقيا وهضبة الدكن وغرب أستراليا كانت عبارة عن جزء من قارة جندوانا القديمة قبل أن يتعرض للتزحزح فوق طبقة السيما التى كانت شديدة اللزوجة عند نهاية العصر الكربونى.

وهناك أدلة أخرى تثبت بدورها أن سطح الأرض تعرض مرة أخرى لفترة جليدية كبرى عند منتصف عصر البلايوستوسين وهو ما يعرف باسم العصر الجليدى البلايوستوسينى وقد إهتم الإنسان بدراسة هذه الفترة الأخيرة دراسة تفصيلية جادة حيث إنها الفترة التى ظهر فيها الإنسان، وأثرت مظاهرها الطبيعية وظروفها المناخية فى هجرات الانسان من مكان الى آخر على سطح الأرض. وقد نتج عن الظروف المناخية البلايوستوسينية تكوين المعابر الأرضية وإرتباط القارات بعضها بالبعض الآخر، وتشكيل مورفولوجية السواحل، والتغيرات التى حدثت فى مستوى سطح البحر، وتراكم الجليد فوق سطح الأرض وإنصهاره، وتعميق المجارى النهرية لأوديتها وتشكيل التصريف النهرى العام لسطح الأرض.

الباب الرابع

النظـــام المـــائى

الفصل السابــع عشر : الخصائص العامة للنظام المائى .

الفصل الثامــن عشر : التوزيع الجغرافى لليابس والماء .

الفصل التاســع عشــر : الخصائص الطبيعية والكيميائية للمياه فى البحار والمحيطات .

الفصل العشــــرون : حركة المياه فى البحار والمحيطات .

الفصل الحادى والعشرون : بعض الظاهرات التضاريسية الساحلية .

الفصل السابع عشر
الخصائص العامة للنظام المائى

لا تتركب القشرة الأرضية من اليابس أو القارات فقط بل يقع فوقها كذلك مساحات واسعة من المياه، تتمثل أساساً فى مياه البحار والمحيطات والبحيرات، يطلق عليها تعبير الغلاف المائى. وقد دلت الدراسات الأوقيانوغرافية على أن المسطحات المائية تشغل مساحة تبلغ نحو ٧٠,٨٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية، ومن ثم لا تزيد مساحة اليابس عن ٢٩,٢٠٪ من جملة مساحة سطح الأرض التى تقدر بنحو ٥١٠ مليون كم٢ (١). وعلى الرغم من إتساع مساحة المسطحات المائية إلا أن حجمها لا يزيد عن ١/٤٩٥٠ من حجم الأرض. ومع ذلك فإن للغلاف المائى دوره المهم فى تشكيل مظاهر سطح الأرض المختلفة، وتمثل مياه البحار والمحيطات أكثر من ٩٨٪ من جملة حجم الغلاف المائى. وتدخل دراسته ضمن علم البحار والمحيطات وأفرعه المختلفة (٢).

وإلى وقت قريب ظل العلماء يعتقدون بأن البحار والمحيطات كانت تشغل فى الماضى خلال العصور الجيولوجية نفس الأبعاد التى تشغلها فى الوقت الحاضر، وأن التغيرات بين كل من المسطحات المائية وأجزاء اليابس والتى كانت تحدث بجوار خط الساحل ما هى إلا تعديلات ثانوية محلية، وقد أكد

---

(1) Chamberlin, T. G., and Salisbury, R. S., A "Geology", London, (1908), p. 7.

(٢) أ – حسن ابو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» الاسكندرية ـ الطبعة الحادية عشرة (١٩٩٥).

ب – حسن ابو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» بيروت (١٩٧٦) - الطبعة التاسعة ـ الاسكندرية (١٩٩٦).

بعض الباحثين كذلك بأن هناك بعض التغيرات تحدث فى قاع المحيط نفسه، كما هو الحال عند حدوث حركات التصدع الكبرى فى قاع المحيط أو انخفاضات أرضية أو ارتفاع نطاقات طولية كبرى من أراضيه على شكل سلاسل جبلية بحرية، تؤثر بدورها فى تذبذب مستوى سطح البحر العام.

وقد تضاربت آراء الباحثين حول تفسير نشأة الغلاف المائى أو بمعنى آخر كيفية تكوين مياه البحار والمحيطات، ثم مدى إختلاف حجم هذه المياه من عصر جيولوجى الى آخر. وتبعاً لتقدير كينن *Kuenen* فى عام ١٩٥٠ (١). يبلغ حجم مياه البحار والمحيطات فى الوقت الحاضر نحو ١٣٧٠ × ١٠^٦ كيلو متر مكعب أى نحو ١,٣٧ بليون كم٣، وتقدر نسبة الأملاح فيها بنحو ٣٪ من حجم المياه.

وقد اعتقد بعض الباحثين أن مصدر هذه الكمية الهائلة من المياه تعزى الى كمية التساقط المتلاحقة فوق سطح الأرض بالإضافة الى انصهار الجليد وما تصبه المجارى النهرية من مياه فى الأحواض البحرية. ولكن يتضح أن هذه المياه بأشكالها المختلفة كانت فى وقت ما جزءاً من مياه المحيط ثم تعرضت للتبخر والتكاثف وعادت ثانية الى المحيط نفسه على شكل أمطار ساقطة أو مياه منصهرة من الثلوج. وقد أوضحت الدراسات المتيورولوجية كذلك بأنه اذا تعرض كل نطاق الغلاف الجوى الذى يحيط بالكرة الأرضية اليوم للتكاثف التام فلا يمكن أن يحتوى على أكثر من ١٣,٠٠٠ مليون متر مكعب من المياه. كما أكد وليم رابى *W. Rabey* أن نسبة المياه التى أضافها الغلاف الجوى الأولى الذى تكون مع بداية ميلاد الكرة الأرضية تمثل نحو ١٠٪ فقط من مجموع حجم مياه البحار والحيطات.

وعلى ذلك ظهرت فى الأفق نظريات جديدة تؤكد أن المصدر الأساسى لمياه البحار والمحيطات هو المياه الأولية *Juvenile Water* والتى يقصد بها

(1) Kuenen, P. H. "Marine geology", Wiley, N. Y. (1950).

تلك المياه التى تظهر لأول مرة على سطح الأرض أو فى قاع المحيط والتى مصدرها باطن الأرض نفسه أو مع إنبثاق المصهورات والصخور البركانية التى كانت تقذف مع انبثاق المصهورات البركانية وتكوين السدود والعروق البركانية. وأوضح ويسلون *T. Wilson* بناء على ذلك أن كلاً من نشأة الغلاف الجوى والمسطحات المائية والقشرة الأرضية ترجع الى مصدر واحد هو ظهور الصخور الساخنة على سطح كوكب الأرض عند بداية نشأة الأرض، ثم النشاط البركانى والثورانات الأرضية الباطنية الكبرى التى صاحبت مراحل تكوين قشرة الأرض خلال تاريخها الجيولوجى الطويل.

وأكد فينر *Fenner, 1926* [(١)] وزيس *Zies, 1926* [(٢)] عند دراستهما للمصهورات البركانية بإقليم كتماى *Katmai* بألسكا. أن نسبة كبيرة من الكلوريد *Chlorides* والفلوريد *Fluorides* ممتزجة مع مواد كبريتية بالإضافة الى بخار الماء تنبثق جميعاً مع المصهورات البركانية. وقد تعزى النسبة العالية من أيونات الكلوريد فى مياه البحار الى حدوث المصهورات البركانية فوق أرضية البحار والمحيطات.

وقد بدأت مياه البحار تتجمع فى المنخفضات المحيطية الكبرى منذ بداية تعرض الصخور الساخنة اللزجة لقشرة الأرض لعمليات التبريد المستمرة، وحيث تبلغ مساحة أرض اليابس نحو ١٥٠ مليون كم٢ وأن متوسط سمك قشرة اليابس نحو ٣٣ كم، فإن حجم كتلة اليابس تبلغ نحو بليون كم٢. أما قشرة الأرض أسفل المحيطات فهى أقل سمكاً حيث أن متوسط سمكها نحو ٥ كم وتغطى مساحة تبلغ نحو ٣٦٠ مليون كم٢، وعلى ذلك فإن حجم كتلة الأرض أسفل المحيطات تبلغ نحو ٢ بليون كم٢. أما الحجم الاجمالى لكتلة قشرة الأرض فيبلغ نحو ٨ بليون كم٢ وحسب دراسات جورانسون *Goranson*

---

(1) Fenner, C. N., in Journal of Geology, vol, 34, (1926), p.672-673

(2) Zies E. G., in National Geographical Magazine, vol, 4(1929) p. 61-79.

1931 (١) . الذى أوضح أن متوسط نسبة حجم المياه الأولية التى تنساب مع الثورانات البركانية تبلغ نحو ٥٪ من جملة حجم المصهورات، على ذلك فإن قشرة الأرض الخارجية كلها تحتوى على كمية من المياه الأولية تبلغ نحو ٠,٤ بليون كم٣ من المياه بينما حجم مياه البحار فى الواقع هو ١,٣ بليون كم٣.

ولهذا رجح الباحثون كذلك أنه الى جانب المياه الأولية التى تكثفت من غازات صخور قشرة الأرض الساخنة إبان فترة برودتها الأولى، أضيفت الى المسطحات البحرية مياه أولية أخرى مصدرها غازات الباطن العميق للأرض، وذلك مع إنبثاقات المصهورات البركانية الكبرى. وقدر جورانسون أن متوسط حجم الانبثاقات البركانية السنوية فوق سطح القشرة الأرضية يبلغ نحو ٢ كم٣. وعلى أساس أن نحو ٥٪ من هذا الحجم يمثل مياه أولية فإن المسطحات المائية يزداد حجمها بمتوسط سنوى يبلغ نحو ٠,١ كم٣ من المياه. وإذا قدرنا أن عمر التكوينات الصخرية لسطح الأرض من العصر الكمبرى حتى الوقت الحاضر بحوالى ٦٠٠ مليون سنة فإن حجم المياه فى المحيطات زادت خلال الفترة الجيولوجية بمقدار ٦ × ١٠^٦ كم٣ (٦٠ مليون كيلو متر مكعب) (٢).

ويتضح أن هذه الكمية بسيطة جداً كذلك إذا ما قورنت بالحجم الهائل لمياه البحار، ولذا يجب أن نضع فى الإعتبار إختلاف شدة الثورانات البركانية وتنوع قوة نشاطها خلال العصور الجيولوجية المختلفة. فقد تبين أن هناك عصوراً جيولوجية تميزت بنشاط بركانى أقوى مما هو عليه اليوم، بينما هناك كذلك عصور جيولوجية أخرى انخمد فيها النشاط البركانى لفترة طويلة من الزمن. وقد أكد الباحث تونهوفل *Towen hofel* بأن كمية المياه فى المحيطات ازدادت تدريجياً بإستمرار على طول فترات العصور الجيولوجية المتعاقبة وأن هذه الزيادة تختلف كذلك من عصر الى عصر آخر تبعاً لكيفية

---

(1) Goranson, R. W., in The American Jour of Science, vol. 5, (1931), p. 448-502.

(2) King C A. M. "Oceanography for geographers". Lodon, (1962), p. 71-73

حدوث الثورانات البركانية والحركات التكتونية، التى انتابت صخور قشرة الأرض من زمن جيولوجى الى آخر. وقد استنتج أن مياه البحار والمحيطات قد زاد حجمها خلال فترات الحركات التكتونية الكبرى، وخاصة الحركات الكارنية والكاليدونية والهرسينية (١). وقد حسب ادموند هالى *Edmund Hally* فى عام ١٧١٥، كمية الأملاح التى تصبها الأنهار فى البحار، آملاً أن يحدد الزمن الدذى تكونت فيه مياه البحر. وقد عدل فى هذه الآراء كل من جولى *Joly* وكلارك *E. W. Clarke*، وقد تبين من نتائج الدراسات الحديثة أن كمية الصوديوم فى البحار قد تجمعت خلال ١٠٠ مليون سنة فقط (نهاية الزمن الجيولوجى الثانى وبداية الزمن الثالث). ولكن هذه النتائج لا تدل على الواقع، حيث عثر الباحثون على كائنات بحرية أولية ترجع الى عصر الكمبرى وما قبله (٦٠٠ مليون سنة)، وعلى ذلك فإن الزمن الذى تكونت فيه الأحواض البحرية وكذلك مياهها أقدم من عمر الكائنات البحرية التى كانت تعيش فى هذه المياه. وأوضح فون أركس *Von Arex. 1962* (٢). أن مياه البحار كانت مالحة منذ العصر السيلورى الأعلى على الأقل (منذ ٤٤٠ مليون سنة) حيث عثر فى صخور هذا العصر على طبقات ارسابية ملحية بحرية.

وتقدر المساحة الإجمالية للمسطحات المائية على وجه القشرة الأرضية بنحو ١٤٣,٢٥٦,٣٠٠ ميلاً مربعاً. ولكن تشمل هذه المساحة أجزاء ضحلة واسعة لا تعد ضمناً من المحيطات الحقيقية بل هى أقرب الى القارات منها الى البحر. وهى التى يطلق عليها تعبير الرفارف القارية *Continental Shelves* ويبلغ متوسط مساحتها نحو ١٠,٠٠٠,٠٠٠ ميلاً مربعاً(٣). فإذا

---

(1) Von Arx, W. S., "An Introduction to physical oceanography", London, (1962), p. 32.

(٢) أطلق بعض الباحثين على الرفارف القارية تعبير الأرصفة القارية ولكن كلمة رصيف تختلط مع تعبير الأرصفة أو السهول التحاتية البحرية marine platforms ومن ثم يحسن استخدام تعبير الرفارف القارية ومعناها أطراف أو هوامش القارات والمفرد رفرف.

(3) Chamberlin, T. C., and Salisbury, R. D., "Geology " London, (1909), p.11.

أسقطنا هذه المساحة الأخيرة من المساحة الإجمالية للمسطحات المائية ، فإن مساحة الأخيرة تبلغ نحو ١٣٣,٠٠٠,٠٠٠ ميلاً مربعاً. ومن ثم يمكن القول إذا انخفض مستوى سطح البحر الحالى بنحو ٦٠٠ قدماً وانحصر عن المياه الحالية التى تشغلها الرفارف القارية، فإن المياه الباقية فى أحواض المحيطات التى تشغلها الرفارف القارية، هى التى تمثل الأحواض المحيطية الحقيقية *True Oceanic basins* كما لا تتساوى هذه الأحواض الأخيرة من حيث العمق، بل تختلف من مكان الى آخر. ويمكن القول أن اختلاف نسبة مساحة المسطحات المائية تبعاً لإختلاف أعماقها هى كما يلى [1] :

الأعماق بالأقدام	مساحتها بالنسبة لمساحة الأحواض المحيطية الحقيقية
٦٠٠ - ١٢٠٠٠	٢٪
١٢٠٠٠ - ١٨٠٠٠	٥٢٪
١٨٠٠٠ - ٣٠٠٠٠	٤٪

هذا ويدخل فى تركيب مياه البحار والمحيطات بعض المواد والأملاح الذائبة التى تعمل على تشكيل الخصائص الطبيعية لمياه البحار. وقد قدرت نسبة الأملاح فى مياه البحار والمحيطات بنحو ٣٤,٤ فى الألف، وتتركب هذه الأملاح بنسب متفاوتة من العناصر الآتية :

	النسبة المئوية
كلوريد الصوديوم [٢]	٧٧,٧٥٨
كلوريد الماغنسيوم	١٠,٨٧٨
سلفات الماغنسيوم	٤,٧٣٧
سلفات الكالسيوم	٣,٥٠٠
سلفات البوتاسيوم	٢,٤٦٥

(1) Rastall,, R, H., "Textbook of geology", London, (1960), p. 8.

(2) Rastall, Op. Cit., p. 11.

بروميد الماغنسيوم	٠,٢١٧
كربونات الكالسيوم	٠,٣٤٥
	١٠٠,٠٠٠

وإلى جانب المسطحات المائية الحقيقة التى تتمثل فى البحار والمحيطات تنتشر فوق سطح اليابس كذلك مسطحات مائية ثانوية من البحيرات والمستنقعات والمجارى النهرية.

وعلى الرغم من تعدد العوامل التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض إلا أن فعل المياه يعد من أهم هذه العوامل جميعاً. ويتركز هذا الفعل فى العمل الذى تقوم به الأمطار والمجارى النهرية والثلاجات والأمواج والمياه الجوفية فى نحت الصخر وتفتيته وتحلله، كما تقوم المياه بأشكالها المختلفة بنقل المفتتات والرواسب من مكان الى آخر، ثم ارسابها على شكل ظاهرات أخرى جديدة فى مناطق مختلفة من سطح الأرض.

الفصل الثامن عشر
التوزيع الجغرافى لليابس والماء

ظل سكان العالم القديم يجهلون الكثير عن حقيقة الامتداد الفعلى للمسطحات المائية على سطح الكرة الأرضية وبقى الحال كذلك حتى بداية الكشوف الجغرافية فى القرن الخامس عشر الميلادى. فقبل فترة الكشوف الجغرافية كان البحر المتوسط هو قلب العالم المائى، كما كان يظن بأن الهوامش الشرقية للمحيط الأطلسى هى عبارة عن البحر المحيط أى الذى يحيط باليابس. وكان من نتائج الكشوف الجغرافية وخاصة رحلات كريستوفر كولومبس الى أمريكا الوسطى وجزر الهند الغربية منذ عام ١٤٩٢، ورحلات بالبوا *Balboa* فى عام ١٥١٣، وماجلان *Magellan* فى عام ١٥١٩، وجيمس كوك (١٧٦٩ - ١٧٨٠) وتاسمان فى عام ١٦٤٢ فى المحيط الهادى، أدرك سكان العالم القديم منذ نهاية القرن الخامس عشر الميلادى الاتساع الهائل للمسطحات المائية والامتداد الفعلى للمحيطين الأطلسى والهادى. ومن ثم أكد الأستاذ لونج *Long* فى عام ١٩٤٢ بأن مساحة اليابس تعد بسيطة جداً إذا ما قورنت بمساحة المسطحات المائية التى تبلغ نسبتها ٧١٪ من إجمالى سطح الكرة الأرضية ومن الدراسة التفصيلية لأعماق البحار والمحيطات وتوزيعها الجغرافى فوق سطح الكرة لأرضية يمكن ملاحظة الآتى :

١ - من حيث الامتداد الرأسى للمسطحات المائية أو بمعنى آخر العلاقة بين سمك الغلاف المائى وبين سمك صخور كوكب الأرض يلاحظ أن المسطحات المائية عبارة عن غلاف رقيق السمك جداً حيث يبلغ متوسط سمكه نحو ٢,٤ ميل أى ما يعادل ١ : ١٦٨٠ من متوسط نصف قطر الكرة الأرضية.

٢ - من حيث الامتداد الأفقى للمسطحات المائية أو بمعنى آخر التوزيع الجغرافى العام للمسطحات المائية بالنسبة لتوزيع اليابس على سطح الأرض يلاحظ، أن جملة مساحة المسطحات المائية تبلغ نحو ٣٦١,٠٥٩×١٠^٦ كم٢ (٣٦١ مليون كم٢) أى نحو ٧٠,٨٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية. ويمثل المحيط الهادى وحده نحو ١/٣ مساحة سطح الكرة الأرضية، بينما تبلغ مساحة المحيطين الأطلسى والهندى نحو ١/٥، ١/٧ مساحة الكرة الأرضية على التوالى (١).

٣ - تبين للعلماء بأن هناك كذلك إختلافات جوهرية للتوزيع الجغرافى بين اليابس والمسطحات المائية فى النصفين الشمالى والجنوبى للكرة الأرضية، فتبلغ مساحة المسطحات المائية فى النصف الشمالى ١٥٤,٦٩٥×١٠^٦ كم٢ أى نحو ٦٠,٧٪ من جملة مساحة النصف الشمالى من الكرة الأرضية. ومن ثم تبلغ مساحة اليابس فى هذا الجزء ١٠٠,٢٨١×١٠^٦ كم٢ أى نحو ٣٩,٣٪ من جملة مساحة النصف الشمالى من الكرة الأرضية، أما إذا انتقلنا الى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية فيلاحظ أن مساحة المسطحات المائية تبلغ نحو ٢٠٦,٣٦٤×١٠^٦ كم٢ أى نحو ٨٠,٩٪ من جملة مساحة النصف الجنوبى من الكرة الأرضية، وتبلغ مساحة اليابس فى هذا الجزء نحو ٤٨,٦١١×١٠^٦ كم٢ أى نحو ١٩,١٪ من جملة مساحة النصف الجنوبى من الكرة الأرضية.

٤ - عند تقسيم سطح الكرة الأرضية الى أشرطة عرضية بحيث يبلغ اتساع كل منها خمس دوائر عرضية فيلاحظ زيادة إتساع المسطحات المائية فى العروض القطبية حيث تغطى البحار كل أجزاء سطح كوكب الأرض الواقعة فيما بين ٨٥ْ - ٩٠ْ. وتبلغ نسبة مساحة المسطحات المائية الواقعة فيما بين دائرتى عرض ٨٠ْ - ٨٥ْ شمالاً نحو ٨٥,٢٪ من جملة مساحة سطح كوكب الأرض فى هذه العروض. بينما يزداد إتساع اليابس فى نصف الكرة الشمالى خاصة فيما بين دائرتى عرض ٤٥ْ - ٧٠ْ شمالاً.

---

(١) حسن ابو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» الطبعة الأولى - بيروت (١٩٦٧) والطبعة التاسعة - الاسكندرية (١٩٩٦).

ويتضح أن نسبة مساحة اليابس فيما بين دائرتى عرض ٦٥° – ٧٠° شمالاً تبلغ نحو ٧١,٣٪ من جملة مساحة سطح كوكب الأرض فى هذه العروض. أما بالنسبة لنصف الكرة الجنوبى فيتبين أن مساحة المسطحات المائية تكاد تفوق تلك الخاصة باليابس عند جميع العروض المختلفة اللهم إلا فيما بين دائرتى عرض ٧٠° – ٩٠° جنوباً تبعاً لإمتداد القارة القطبية الجنوبية.

ويوضح الجدول الآتى التوزيع الجغرافى للمسطحات المائية والأرض اليابسة فى النصفين الجنوبى والشمالى للكرة الأرضية، والعلاقة بين نسبة اليابس والماء الى جملة مساحة سطح كوكب الأرض عند كل شريط عرضى يبلغ اتساعه خمس دوائر عرضية :

دائرة عرض	النصف الشمالى من الكرة الأرضية		النصف الجنوبى من الكرة الأرضية	
	نسبة مساحة المسطحات المائية ٪	نسبة مساحة اليابس ٪	نسبة مساحة المسطحات المائية ٪	نسبة مساحة اليابس ٪
٨٥ – ٩٠	١٠٠	–	–	١٠٠
٨٠ – ٨٥	٨٥,٢	١٢,٨	–	١٠٠
٧٥ – ٨٠	٧٧,١	٢٢,٩	١٠,٧	٨٩,٣
٧٠ – ٧٥	٦٥,٥	٣٤,٥	٣٨,٦	٦١,٤
٦٥ – ٧٠	٢٨,٧	٧١,٣	٧٩,٥	٢٠,٥
٦٠ – ٦٥	٣١,٢	٦٩,٨	٩٩,٧	٠,٣
٥٥ – ٦٠	٤٥,٠	٥٥,٠	٩٩,٩	٠,١
٥٠ – ٥٥	٤٠,٧	٥٩,٣	٩٨,٥	٠,٥
٤٥ – ٥٠	٤٣,٨	٥٦,٢	٩٧,٥	٢,٥
٤٠ – ٤٥	٥١,٢	٤٨,٨	٩٦,٤	٣,٦
٣٥ – ٤٠	٥٦,٨	٤٣,٢	٩٣,٤	٦,٦
٣٠ – ٣٥	٥٧,٧	٤٢,٣	٨٤,٢	١٥,٨
٢٥ – ٣٠	٥٩,٦	٤٠,٤	٧٨,٤	٢١,٦
٢٠ – ٢٥	٦٥,٢	٣٤,٨	٧٥,٤	٢٤,٦
١٥ – ٢٠	٧٥,٨	٢٩,٢	٧٦,٤	٢٣,٦
١٠ – ١٥	٧٦,٥	٢٣,٥	٧٩,٦	٢٠,٤
٥ – ١٠	٧٥,٧	٢٤,٢	٧٦,٩	٢٣,١
٠ – ٥	٧٨,٦	٢١,٤	٧٥,٩	٢٤,١
المجموع	٦٠,٧	٣٩,٣	٨٠,٩	١٩,١

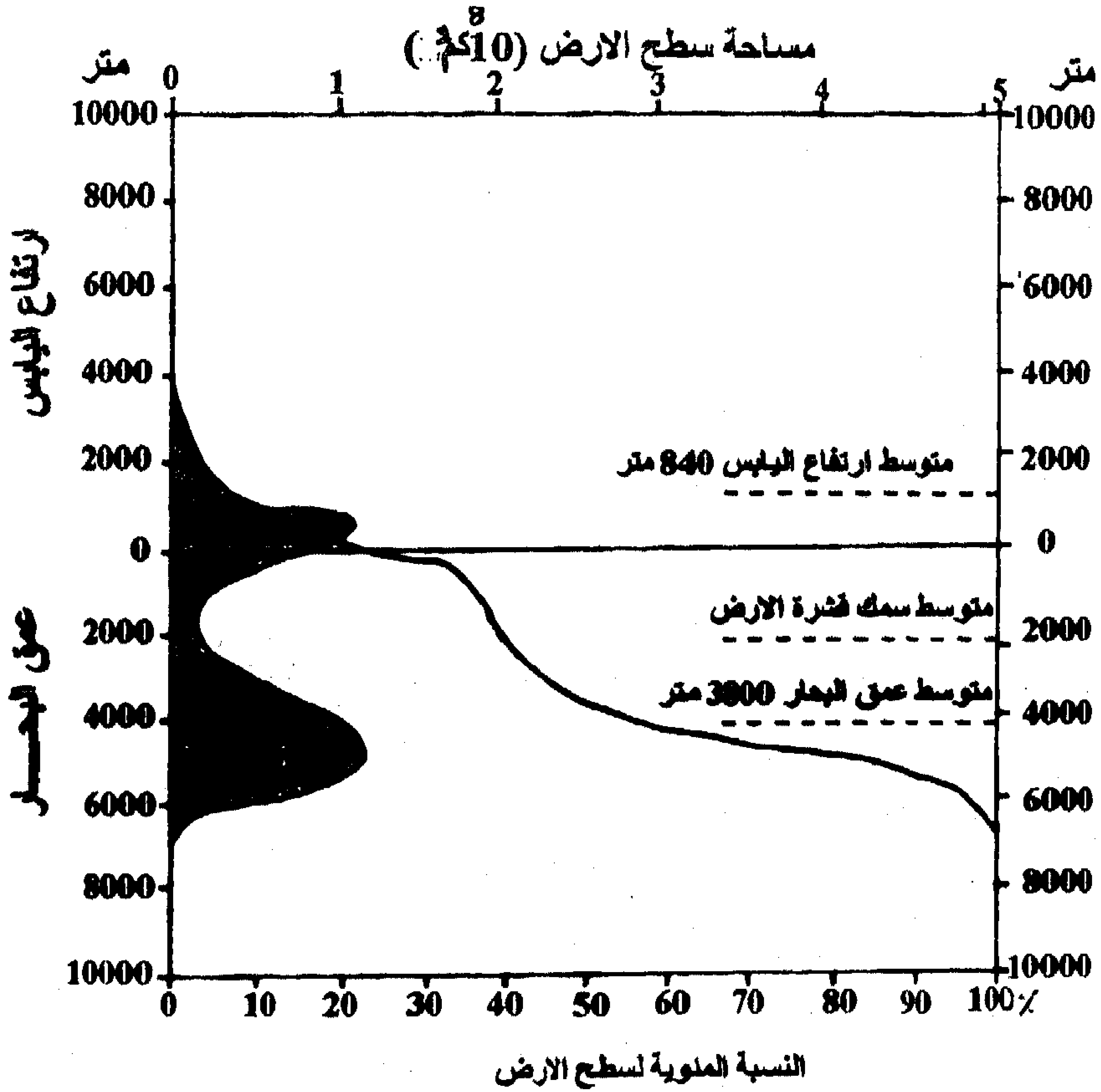
٥ – قد يقسم سطح الأرض أيضاً من حيث اليابس والماء الى نصفين : غربى وشرقى. وفى النصف الغربى يشيع وجود الماء إذ تصل نسبته الى نحو ٨١,٢٪ فى حين تقل نسبته فى القسم الشرقى الى نحو ٥٢,١٪. ومن ثم يمكن القول بأن الغطاءات المائية تحتل مساحة واسعة تتمثل فى غرب الكرة الأرضية وجنوبها، فى حين يتركز أكبر قسم من الكتل اليابسة من شرق الأرض وشمالها، وليس غريباً أن يطلق بعض العلماء على كوكب الأرض تعبير «الكوكب المائى».

٦ – وهناك محاولة أخرى لتقسيم سطح الكرة الأرضية الى شطرين أحدهما يشتمل على المساحة الكبرى من اليابس ويسمى «بالنصف القارى» ويقع مركزه حول مصب نهر اللوار فى غرب فرنسا، وفيه يتركز نحو ٨٣٪ من المساحة الكلية للكتل القارية. أما الثانى فيشتمل على المساحة الكبرى من المياه ويسمى لذلك «بالنصف المائى» ويقع مركزه عند جزر الانتيبود *Antipodes* الى الجنوب الشرقى من نيوزيلند، وفيه تبلغ نسبة مساحة المياه ٩٠,٥٪.

٧ – وقد تبين أن أعماق المحيطات أكبر بكثير من ارتفاع اليابس، فبينما يبلغ متوسط ارتفاع اليابس نحو ٨٤٠ متر، فإن متوسط عمق المحيطات تصل الى نحو ٣٨٠٠ متر. ولو فرض أن تلاشت تضاريس قشرة الأرض واتخذت شكل سهل مستوى السطح تماماً، لأصبح فى امكان المسطحات المائية الحالية أن تغطى سطح الكرة الأرضية ببحر واسع الامتداد يبلغ متوسط عمقه نحو ٨٨٠٠ قدم. هذا ويلاحظ أن القسم الكبير من اليابس يقع على مناسيب قليلة الارتفاع من سطح البحر حتى عمق ١٠٠٠ م، فى حين يتبين أن القسم الكبير من البحار يقع على أعماق بعيدة جداً تتراوح من ٤٠٠٠ الى ٦٠٠ متر (شكل ١٠٢).

ومن دراسة المناسيب المختلفة لأجزاء اليابس، يتبين أن أراضى اليابس الواقعة بين منسوب ٦٠٠ الى ٣٠٠٠ قدم تبلغ مساحتها نحو ٢٦ ميلاً مربعاً وتبلغ نسبتها نحو ١٣٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية. أما تلك المناطق التى يزيد ارتفاعها عن ١٢٠٠٠ قدم، فهذه تقل نسبة مساحتها عن ١٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية كما يتضح من الجدول الآتى :

المنسوب بالأرقـام	مساحة اليابس عند هذا المنسوب (ملايين الأميال المربعة)	نسبة هذه المساحة الى جملة مساحة سطح كوكب الأرض
أكثر من ١٢٠٠٠	٢	١٪
من ٦٠٠٠ – ١٢٠٠٠	٤	٢
من ٣٠٠٠ – ٦٠٠٠	١٠	٥
من ٦٠٠ – ٣٠٠٠	٦٢	١٣
من صفر – ٦٠٠	١٥	٨
المجموع	٥٧	٢٩٪



(شكل ١٠٢) المنحنى الهيبسوغرافى لتضرس سطح الأرض

أما بالنسبة للمسطحات المائية فيلاحظ أن الأعماق التي تقع فيما بين الساحل وعمق ٦٠٠ قدم لا تمثل أكثر من ٥٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية. أما تلك الأعماق التى تقع فيما بين عمق ١٢٠٠٠ الى ١٨٠٠٠ قدم فهذه تمثل نحو ٤١٪ من جملة مساحة سطح الكرة الأرضية. ويوضح الجدول الآتى مساحة أرضية البحار والمحيطات عند الأعماق المختلفة، ونسبة هذه المساحة الى المساحة الكلية لسطح كوكب الأرض :

الأعماق بالأقدام	مساحة أرضية البحار عند هذه الأعماق (ملايين الأميال المربعة)	نسبة هذه المساحة الى جملة مساحة سطح كوكب الأرض
صفر - ٦٠٠	١٠	٥٪
٦٠٠ - ٣٠٠٠	٧	٣
٣٠٠٠ - ٦٠٠٠	٥	٢
٦٠٠٠ - ١٢٠٠٠	٢٧	١٥
١٢٠٠٠ - ١٨٠٠٠	٨١	٤١
أكثر من ١٨٠٠٠	١٠	٥
الجملة	١٤٠	٧١٪

٨ - تتألف المسطحات المائية أساساً من ثلاثة محيطات كبرى هائلة الحجم هى : المحيط الهادى، والمحيط الأطلسى، والمحيط الهندى، وتتصل هذه المحيطات ببعضها البعض عن طريق فتحات واسعة، ويقع أكثر من ٧٠٪ من مساحة أرضية هذه المحيطات فيما بين خطى عمق ٣٠٠٠ الى ٦٠٠٠ متر. ويتمثل أكبر المسطحات المائية المعروفة عمقاً بالمحيط الهادى وخاصة فى خوانقه المحيطية الكبرى *Deep-sea Trenches* كما هو الحال فى خانق ماريانا (١١,٥٠٠ م) وتونجا (١٠,٨٠٠ متر)، وكوريل (١٠,٥٤٠ متر)، وميندناو (١٠,٠٣٠ متر). أما الأعماق الضحلة والتى تقع فيما بين خط

الساحل حتى عمق ٢٠٠٠ متر، فلا تزيد مساحتها فى المحيط الهادى عن ٧٪ وفى المحيط الهندى عن ١٠٪ وفى المحيط الأطلسى عن ١٣٪ بالنسبة للمساحة الكلية الخاصة بكل محيط، ويوضح الجدول الآتى مساحة أراضى كل من محيطات العالم عند الأعماق المختلفة بالنسبة للمساحة الكلية لكل محيط :

الأعماق (متر)	الأطلسى	الهادى	الهندى	محيطات العالم
صفر - ٢٠٠	٥,٦٪	١,٧٪	٣,٢٪	٣,١٪
٢٠٠ - ١٠٠٠	٤,٠	٢,٢	٢,٧	٢,٨
١٠٠٠ - ٢٠٠٠	٣,٦	٣,٤	٣,١	٣,٤
٢٠٠٠ - ٣٠٠٠	٧,٦	٥,٠	٧,٤	٦,٢
٣٠٠٠ - ٤٠٠٠	١٩,٤	١٩,١	٢٤,٤	٣٠,٤
٤٠٠٠ - ٥٠٠٠	٣٢,٤	٣٧,٧	٣٨,٩	٣٦,٦
٥٠٠٠ - ٦٠٠٠	٢٦,٦	٣٨,٨	١٩,٩	١٦,٢
٦٠٠٠ - ٧٠٠٠	٠,٨	١,٨	٠,٤	١,٢
أكثر من ٧٠٠٠	-	٠,٣	-	٠,١

نشأة المحيطات وتفسير
إختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء

حاول العلماء تفسير إختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء ونشأة الأحواض المحيطية نفسها، واقترحوا فى هذا الشأن ما يزيد على خمسة عشرة نظرية مختلفة، حاولت كل منها إيضاح العوامل التى شكلت التوزيع الحالى للبحار واليابس فوق سطح الكرة الأرضية. وإن دل تعدد تلك النظريات والافتراضات على شيء فإنما يدل على أنه لم يقبل حتى الآن أى فرض بصورة نهائية ومرضية.

فقد اعتقد كلفن *Kelvin* بأن القارات كانت فى الأصل عبارة عن عقيدات قديمة *Nuclear Clots* متناثرة فى الكتل الغازية الهائلة الحجم التى كانت تتألف منها الأرض عند بداية ميلادها. أما الأستاذ سولاس *Sollas*، فقد أوضح بأن سطح الأرض لم يكن مستوياً عند بداية نشأته بل كان يتموج على شكل ثنيات محدبة تمثل القارات، وأخرى مقعرة تمثل أحواض البحار، ويعزى تكوين هذه الثنيات المختلفة الى تأثير الضغط الجوى الشديد فى صخور قشرة الأرض المرنة (١) ، إبان ذلك الوقت.

أما أصحاب نظرية الكويكبات *Planetesimal hypthesis* فقد رجحوا بأن الأشكال التضاريسية الكبرى لسطح الأرض إنما هى وليدة التساقط غير المتساوى للشهب والنيازك فوقه عند بداية ميلاد الأرض. أو بمعنى آخر فقد ينجم عن شدة تساقط الشهب وتجمع موادها بناء مناطق مرتفعة هى القارات، أما تلك الأجزاء من سطح قشرة الأرض والتى لم يتجمع فوقها الكثير من مواد الشهب والنيازك فصارت منخفضة المنسوب وحوضية الشكل، وأصبحت فيما بعد تمثل الأحواض البحرية الأولية.

أما الأستاذ لابوراث *Lapworth, 1892*، فقد اعتقد أنه عند بداية ميلاد كوكب الأرض كان وتعرض باطنه وقشرته للبرودة التدريجية، تقلصت مواد باطنة وانكمشت بدرجة أكبر من انكماش القشرة الخارجية للأرض، وذلك لأن باطن الأرض كان أشد حرارة من صخور قشرة الأرض. وعلى ذلك هبطت أجزاء من قشرة الأرض الى أسفل لترتكز على مواد باطن الأرض المتقلصة، فى حين تموجت القشرة فى كثير من أجزاء سطح الأرض. ويعتقد لابوراث بأنه نتج عن هذه العملية تموج سطح قشرة الأرض مثل تموج مياه المحيطات وأصبحت المناطق المحدبة تمثل القارات والأخرى المقعرة من القشرة الأرضية تمثل البحار والمحيطات .

(1) Wooldrige, S. and Morgan. R. S., "An outline of geomorphology", London, (1961), p. 32.

وأشار لابوراث بأن أظهر تلك الثنيات المحدبة الكبرى هى ثنية الأمريكتين ويقع فى داخل هذه الثنية المحدبة بعض المناطق المقعرة الأقل حجماً والتى أدت الى تكوين سهول حوضية منخفضة المنسوب كما هو الحال بالنسبة لسهل لابلاتا فى أمريكا الجنوبية وسهول البرارى فى أمريكا الشمالية وتتمثل أظهر الثنيات المقعرة الكبرى فى ثنية المحيط الأطلسى المقعرة، وهى أيضاً تأثرت بثنيات محدبة ثانوية أدت الى تكوين الحواجز المحيطية التى تتمثل اليوم فوق أرضية المحيط الأطلسى. ولكن لا تتفق آراء لابوراث مع مبادئ علوم الجيولوجيا، ولا يمكن قبولها علمياً.

وقد حاول الأستاذ لاف *Love* فى عام ١٩٠٧، تعديل آراء لابوراث، وبذل جهداً كبيراً لتفسير أسباب تقلص مواد الأرض وتكوين الثنيات المحدبة والمقعرة والتى أدت بدورها الى تكوين القارات والمحيطات. واعتقد «لاف» بأن مركز قوة الجاذبية الأرضية لا يتفق مع المركز الهندسى لباطن الأرض، وينجم عن ذلك عمليات شد أجزاء من قشرة الأرض نحو مركز قوة الجاذبية الأرضية. وتؤدى هذه العمليات الأخيرة بدورها الى شد بعض أجزاء من سطح الأرض نحو الباطن مكونة أحواض مقعرة كبرى شغلتها المحيطات، بينما بقيت أجزاء سطح الأرض فى موقعها الأصلى وأصبحت مرتفعة المنسوب وتكونت منها القارات فيما بعد.

ومن بين أظهر النظريات التى قدمت فى هذا الصدد تلك المعروفة باسم النظريةالتتراهيدية (أو الهرم الثلاثى) والتى وضعها الباحث لوثيان جرين عام ١٨٧٥، ونظرية زحزحة القارات التى وضعها «فجنر» فى عام ١٩١٤، ونظرية انسلاخ القمر عن الأرض والتى رجحها تشارلس داروين فى عام ١٨٧٨ وأكدها كثير من العلماء من بعده، ونظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية التى اقترحها العلماء منذ نحو عشرين عاماً مضت [1].

---

(١) حسن ابو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» - بيروت (١٩٦٧) والطبعة التاسعة - الاسكندرية (١٩٩٦).

١ - النظرية التتراهيدية (الهرم الثلاثى) :

Tetrahedral Hypothesis

لاحظ لوثيان جرين في عام ١٨٧٥ بأن هناك إختلافاً كبيراً للتوزيع الجغرافى بين اليابس والماء فوق أجزاء سطح الأرض المختلفة، كما تتميز الأشكال العامة لأبعاد القارات والمحيطات بخصائص مميزة، ويمكن أن نلخص مشاهداته فى الآتى :

أ - يتركز معظم اليابس فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية فى حين يتركز معظم الغطاء المائى فى النصف الجنوبى منها.

ب - ظهور معظم القارات على شكل مثلثات مختلفة المساحة تتجه رؤوسها جميعاً نحو الجنوب، فتبدو قارة أمريكا الشمالية على شكل مثلث تتمثل رأسه فى أمريكا الوسطى وقاعدته الساحل الشمالى لكندا، وتبدو قارة أمريكا الجنوبية على شكل مثلث تظهر رأسه عند جزيرة تيراديلفويجو وتمتد قاعدته على طول الساحل الشمالى للبرازيل، وتبدو قارة أفريقيا على شكل مثلث رأسه عند منطقة رأس الرجاء الصالح، ويعد ساحلها الشمالى قاعدة لهذا المثلث، وتظهر قارة أوراسيا على شكل مثلث واسع الإمتداد بحيث تمتد قاعدته على طول الساحل الشمالى لأوراسيا، ورأسه بالقرب من جزيرة تسمانيا، ولاحظ جرين كذلك أن محيطات العالم تتخذ جميعاً شكلاً قريباً من شكل المثلث وخاصة المحيط الهادى الذى يقع رأسه عند مضيق بهرنج.

جـ - تقابل اليابس والماء فى نصفى الكرة الأرضية، إذ نجد تقريباً أن كل جزء من اليابس، صغر أم كبر يقابله مسطح مائى على الجانب المقابل له من الكرة الأرضية. وهناك حالتان فقط تشذ عن هذه القاعدة وتتمثل الأولى فى كتلة بتاجونيا (جنوب الأرجنتين) التى تقابل قسماً يابساً من شمال الصين، والثانية هى اليابس النيوزيلندى الذى يواجه قسماً من أرض شبه جزيرة إيبريا.

د - زيادة إتساع المحيط الهادى (١/٣ مساحة سطح الكرة الأرضية) وظهوره على شكل مثلث هائل الحجم، وتشكيل قاعه بصخور السيما.

وعلى ذلك اعتقد جرين بأنه عندما بدأ كوكب الأرض يتعرض لعمليات البرودة التدريجية، وتقلص باطن الأرض، أدى ذلك الى ظهور السطح الخارجى للقشرة الأرضية على صورة المنشور الثلاثي أو الشكل التتراهيدى (الهرمى) بحيث احتلت مناطق اليابس أو القارات الأجزاء البارزة من اليابس المنشورى، فى حين شغلت المحيطات والبحار أسطح المنشور المستوية والمنخفضة المنسوب.

وقد أكدت الدراسات الهندسية كذلك بأن الجسم الذى يفقد حرارته ينكمش ويتقلص وسرعان ما يتخذ شكلاً يتناسب مع عمليات انكماش مواده. ويعد الشكل التتراهيدى (الهرم الثلاثى) أقرب هذه الأشكال حيث يتمثل فوقه مساحات واسعة على الرغم من صغر حجمه (١). غير أنه يلاحظ بأن هذه النظرية لا تتفق فى جوهرها مع معلوماتنا الحديثة عن عمليات توازن القشرة الأرضية. بل وحتى إذا كانت الأرض فى مراحل نشأتها الأولى على شكل الهرم الثلاثى، فكان لابد وأن يتحول شكلها بالتدريج الى الشكل الكروى والمنبعج نسبياً بالمناطق الاستوائية والمفلطح بالمناطق القطبية تبعاً لدوران الأرض حول محورها ولعامل التوازن.

وقد حاول الأستاذ جريجورى *W. Gregory* تحقيق نظرية لوثيان جرين التتراهيدية، وأكد بأن هذه النظرية تعد أنسب الافتراضات التى تفسر الأشكال العامة للقارات والمحيطات من جهة وأسباب تباين التوزيع الجغرافى لليابس والماء فى نصف الكرة الأرضية من جهة أخرى.

---

(1) Wooldridges, S. W., Morgan, K. S. "An outline of geomorphology", London, (1961), p. 41.

٢ - نظرية زحزحة القارات *Continental Drift Theroy* :

لاحظ كثير من العلماء أوجه الشبه الكبير بين السواحل الغربية لقارة أوربا وأفريقيا وبين السواحل الشرقية للأمريكتين وخاصة من حيث الشكل العام للسواحل حيث إنها تبدو وكأنها كانت ملتصقة ببعضها البعض فى فترة جيولوجية سابقة ثم انفصلت عن بعض فى فترة جيولوجية لاحقة. وأكد هذه الآراء تشابه التركيب الجيولوجى والبنية الجيولوجية والحفريات والمناخ القديم فى كل من القارات التى تقع على جانبى المحيط الأطلسى.

وتختلف نظرية زحزحة القارات عن النظريات التقليدية القديمة التى رجحها كل من كلفن *Kelvin* وسولاس *Sollas*، ولابوراث *Lapworth* ولاف *Love* من قبل، ذلك لأن هذه النظريات القديمة افترضت تكوين القارات والبحار والمحيطات نتيجة لتزحزح بعض أجزاء من سطح الأرض رأسياً، وهذه آراء من الصعب قبولها علمياً، ومن البعيد حدوثها فى قشرة الأرض الرقيقة السمك، هذا فضلاً عن اختلاف التركيب الجيولوجى العام للقارات التى تتألف من صخور السيال من جهة ولأرضية المحيطات التى تتألف من صخور السيما من جهة أخرى. أما نظرية زحزحة القارات فهى تفسر توزيع اليابس والماء على أساس حدوث زحزحة أفقية فى أجزاء اليابس القديم وتباعد أجزاء اليابس بعضها عن البعض الآخر نتيجة لهذه الزحزحة الأفقية بعد أن تشكلت الأجزاء المتزحزحة ببعض الأدلة الجيولوجية والحفرية والمناخية التى تدل على مظهرها الأصلى ومراحل تطورها الباليوجرافى.

ويعد الأستاذ فرنسيس بيكون *Francis Bicon* أول من أشار الى تشابه سواحل المحيط الأطلسى الشرقية والغربية فى عام ١٦٢٠، وأكد بأنها ربما كانت ملتحمة مع بعضها البعض فى فترات جيولوجية سابقة لأن سواحلها يمكن لها أن تدخل فى بعضها تماماً، وتكاد تكون جميعاً قارة كبيرة كانت ملتحمة الأجزاء خلال فترة جيولوجية ما.

وقد اعتقد الأستاذ دانا *Dana* فى عام ١٨٤٦ بأن الشكل العام للقارات

وللأحواض المحيطية ظل كما هو خلال الفترات الجيولوجية المختلفة، وأن حدث تغيير فإن ذلك كان يقتصر على المناطق الهامشية للبحار وأطراف القارات، ولم يؤثر ذلك كثيراً فى تغيير التوزيع الجغرافى لليابس والماء منذ العصر الأركى حتى الوقت الحاضر. أما الأستاذ البريطانى البيولوجى ادوارد فوربس *E. Frobes* فقد عارض آراء دانا فى عام ١٨٠٥، وأكد بأن هناك كثيراً من العائلات والأنواع النباتية والحيوانية البحرية ممثلة فى مناطق مختلفة من أرضية البحار والمحيطات ولا يمكن تفسير توزيعها الجغرافى إلا نتيجة لحدوث زحزحة فى أرضية البحار والمحيطات. ونفس الحال فيما يتعلق بتفسير بعض الحفريات التى تتمثل فى صخور القارات على جانب المحيط الأطلسى، وتنتمى هذه الحفريات الى عائلات حيوانية ونباتية واحدة ومن الصعب جداً أن تكون قد عبرت المسطحات المائية بأية وسيلة أخرى وأن انتشارها لم يحدث سوى عن طريق زحزحة القارات.

أما الأستاذ الفرنسى انطونيو سنيدر *Antonio Snider*. فقد أوضح فى كتابه المشهور فى عام ١٨٥٨ (١) بأن هناك كثيراً من أوجه الشبه بين السواحل الشرقية والسواحل الغربية للمحيط الأطلسى من الناحية الجيولوجية وتكاد تتداخل هذه السواحل فيما بينها لتكون قارة قديمة هائلة الحجم. وأوضح سنيد كذلك بأن هذه القارة القديمة تعرضت لزحزحة أفقية وانفصلت أجزائها عن بعضها البعض خلال العصر الكربونى، ورسم خرائط توضيحية لشكل القارة القديمة قبل عملية زحزحتها الأفقية وبعد حدوث هذه العملية. وقد أعجب الجيولوجى البريطانى بيبر *Pepper* بآراء سنيدر الفرنسى، وحقق هذه الآراء فيما بعد وذلك خلال عام ١٨٦١ (٢). وعرض «بيبر» من جديد الخرائط الباليوجرفية التى افترضها سنيد من قبل، ولكن لم يهتم العلماء بهذه الآراء

---

(1) Antonio Snider, "La Creation et ses mysteres dvoiles", Paris, (1858).

(2) Pepper, G. H., "Playbook of metals" London, (1861).

التى بدت غريبة خلال هذه الفترة من الزمن [1].

ثم أعاد الباحث الأمريكى تايلور *F. B. Taylor* هذه الافتراضات القديمة الى الأذهان من جديد وذلك منذ عام ١٩٠٨، وقد حاول تايلور فى دراساته تفسير أشكال السلاسل الجبلية الكبرى وإختلاف التوزيع الجغرافى لليابس والماء فوق سطح الأرض. ولاحظ تايلور ما يلى :

أ - كانت تقع عند القطب الشمالى وحوله قارة كبرى قديمة تعرف باسم قارة لوراسيا *Laurasia*. وتزحزحت هذه القارة أفقياً وامتدت من القطب الشمالى صوب المناطق الاستوائية من الأرض. وقد شبه تايلور حركة زحف القارة القديمة، مثل زحف الكتل الجليدية البلايوستوسينية من القطب الشمالى صوب الجنوب.

وأوضح تايلور بأن زحف قشرة الأرض لا يشبه زحف انسيابات المياه مثلاً، بل لابد وأن تنثنى هذه القشرة وتتمعج فى بعض المواقع وخاصة عند أطرافها الأمامية بفعل عمليات الشد والجذب، وينجم عن ذلك تكوين سلاسل المرتفعات. أو بمعنى آخر فإن نشأة السلاسل الجبلية الممتدة من الغرب الى الشرق فى أوربا تعزى الى زحزحة قارة أوراسيا من الشمال الى الجنوب.

ب - وفى نصف الكرة الجنوبى اعتقد تايلور بأنه كانت هناك قارة قديمة هى قارة جندوانا تقع بالقرب من مركز القطب الجنوبى. وتعرضت هذه القارة لعمليات الزحزحة الأفقية واتجهت هى الأخرى من القطب الجنوبى جنوباً نحو المناطق الاستوائية شمالاً، ونجم عن هذه الحركة تكوين سلاسل جبلية عرضية.

جـ - نتيجة لزحزحة القارات تعرضت بعض أجزائها لصدوع كبرى وأدى

---

(1) Wegener, A. "The origin of Continents and Oceans", Methuen, London, (1927).

ذلك الى فصل أجزائها الغربية وزحزحتها أفقياً نحو الغرب. وهكذا انفصلت الأمريكتان عن قارتى لوراسيا الشمالية وجندوانا الجنوبية، وتكونت السلاسل الجبلية الطولية التى تمتد من الشمال الى الجنوب فى الأمريكتين.

ومن أهم نقاط الضعف فى نظرية تايلور أنه أوضح بأن القمر عند بداية انفصاله عن الأرض كان قريباً جداً منها، وعلى ذلك نتج عن جاذبية القمر الشديدة، شد قارات السيال (لوراسيا وجندوانا) من مواقعهما الأصلية عند المناطق القطبية الى المناطق الاستوائية ومن الصعب قبول هذه الافتراضات علمياً فقوة جذب القمر للأرض لا يمكن أن تتضمن تحرك القارات بالشكل الذى وصفه تايلور.

هذا ولم ينجح تايلور فى تفسير نشأة المرتفعات الجبلية الكبرى التى تكونت فيما قبل العصر الكريتاسى، وهو العصر الذى انفصل فيه القمر عن الأرض حسب آراؤه، حيث أن هناك كثيراً من السلاسل الجبلية القديمة جيولوجياً (الكارنية والكاليدونية والهرسينية) تكونت فوق سطح الأرض قبل العصر الكريتاسى.

وقد ساعدت آراء الأستاذ تايلور الأمريكى ظهور الكثير من النظريات المختلفة التى حاولت جاهدة تفسير عملية الزحزحة الأفقية للقارات، وتباين التوزيع الجغرافى لليابس والماء. ومن أظهر هذه الدراسات الحديثة تلك التى قام بها كل من الجيولوجى الألمانى ألفريد فجنر *Alfred Wegener* فى عام ١٩١٤ وكتابات الباحث دى توا *Du Toi* فى عام ١٩٣٧ عن نظريته فيما يتعلق بتجول القارات وزحزحتها [١] ونظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية التى ظهرت حديثاً ومن ثم سيشير الكاتب إليها بشىء من التفصيل.

---

(1) Du Toit "Our Wandering Continents" (1937)

آراء فجنر

بدأ فجنر ينشر آراءه عن تزحزح القارات أفقياً منذ عام ١٩١٢، ثم دعم هذه الآراء بعرض لكثير من الأدلة الجيولوجية والباليوجرافية والحفرية فى كتاباته فى عام ١٩١٥ (١) وفى عام ١٩٢٢. ومما ساعد على شيوع أفكاره فى أنحاء العالم ترجمة كتاباته الى اللغة الإنجليزية فى عام ١٩٢٤ (٢).

واعتقد فجنر بأن يابس سطح الكرة الأرضية كان متجمعاً فى كتلة واحدة كبرى أطلق عليها اسم بانجايا *Pangaea* وكان المحيط الشاسع يحيط بتلك الكتلة من جميع الجوانب. وقد أوضح بأن كتلة بانجايا حتى بداية العصر الكربونى كانت تتألف من قارات كبرى تتمثل فى كتلة أوراسيا (قارة أنجارا) والكتلة القطبية والكندية (قارة أركتس)، والكتلة الأفريقية الجنوبية (قارة جندوانا)، وكان يفصل بينهما بحر تثس *Tethys* الجيولوجى القديم.

واعتقد فجنر بأن كتلة بانجايا انقسمت وتزحزحت ومما يؤكد ذلك انتشار بقايا رواسب طبقات الفحم فى أوربا وأمريكا الشمالية والتى تكونت تحت ظروف المناخ الحار الرطب وكذلك التوزيع الجغرافى لرواسب العصر الجليدى الكربونى فى مناطق تعتبر مدارية المناخ اليوم. كما أشار فجنر كذلك بأن موقع القطب الجنوبى للأرض خلال العصر الكربونى الأعلى لم يكن فى موقعها الحالى بل كان فى موقع يتوسط كتلة جندوانا القديمة (جنوب أفريقيا - غرب أستراليا - انتارتيكا - الهند - مدغشقر - شرق أمريكا الجنوبية) وكان يتمثل فى منطقة رأس الرجاء الصالح تقريباً.

ومن ثم كان المناخ القديم للأرض يختلف عن المناخ الحالى وأكد بأن طبقات الفحم الكربونى فى صخور أمريكا الشمالية وأوربا (والتى يعتقد بأنها

(1) Wegener, A. "Die Entstehung der Kontinent und Ozeane", (1916).

(2) Wegener, A. "The origin of continents and Oceans", Methuen, Methuen London, (1924).

تجمعت من تكوين النباتات المدارية) ترسبت خلال حدوث فترة جليد جندوانا *Gonduwana Glaciation* في النصف الجنوبي من الأرض. في حين تكون خلال نفس هذه الفترة الجيولوجية طبقات فحمية فقيرة (فحم جلوسبتريس) تتألف من نباتات باردة، ونباتات اللبد النباتي، في كل من جنوب أفريقيا وغرب أستراليا وشرق أمريكا الجنوبية وفي الهند.

وعند نهاية الزمن الجيولوجي الثاني وبداية الزمن الجيولوجي الثالث بدأت تتزحزح القارات تدريجياً نتيجة لشدة لزوجة طبقة السيما (القسم الأسفل من القشرة الأرضية) لتعرضها للحرارة الشديدة، فانفصلت قارتا الأمريكتين عن أوربا وأفريقيا وتزحزحت كتلتهما نحو الغرب، في حين تزحزحت القارة القطبية الجنوبية (انتارتيكا) نحو الجنوب، وهضبة الدكن وأستراليا نحو الشرق. وساهمت حركة الزحزحة هذه في تكوين بعض السلاسل الجبلية الكبرى التي انتابت أواسط الزمن الجيولوجي الثالث، وبدأ يظهر اليابس بشبه صورته الحالية منذ أواسط عصر البلايوستوسين (شكل ١٠٣).

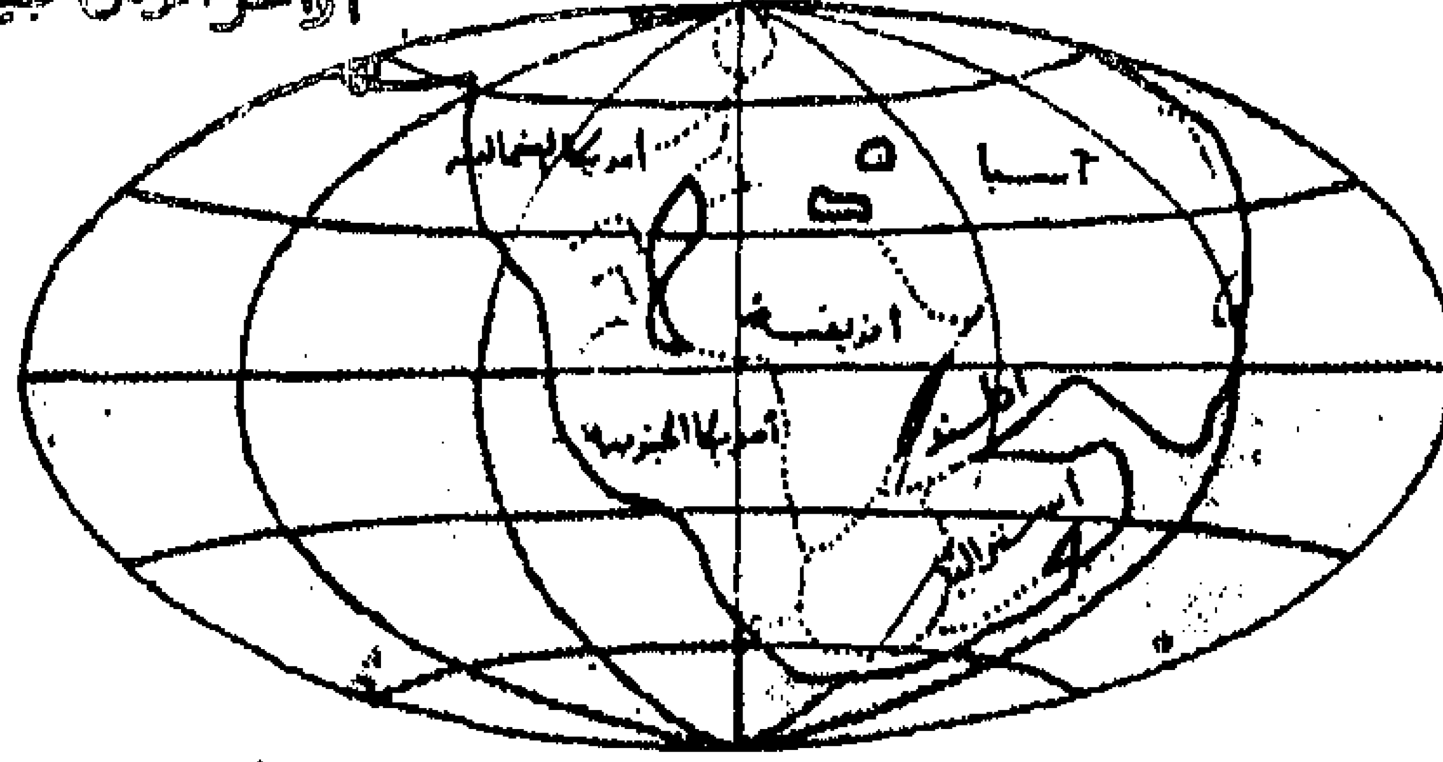
ويعتقد فجنر بأن كتلة السيما كانت أكثر لزوجة عما هي عليه اليوم، وساعد ذلك على تزحزح قارات السيال فوقها بفعل عاملين رئيسين هما :

أ – قوة الجذب الأرضية *Gravitational Attraction* : وهي التي دفعت صخور السيال القارية نحو المناطق الاستوائية. وقد وصف فجنر عملية زحزحة القارات بتعبير قفز أو انطلاق القارات من المناطق الإستوائية *Polflucht-Flight*، واسماها كذلك عملية التجول القطبي *Polar Wandering*.

وقد أدت هذه الزحزحة الى تكوين سلاسل جبال عرضية تمتد من الغرب الى الشرق مثل سلاسل مرتفعات الألب في أوربا والهيملايا في آسيا والتي نتجت بعد إلتحام قارات السيال.

ب - قوة المد ويقصد بذلك إختلاف قوة جذب القمر والشمس لأجزاء سطح

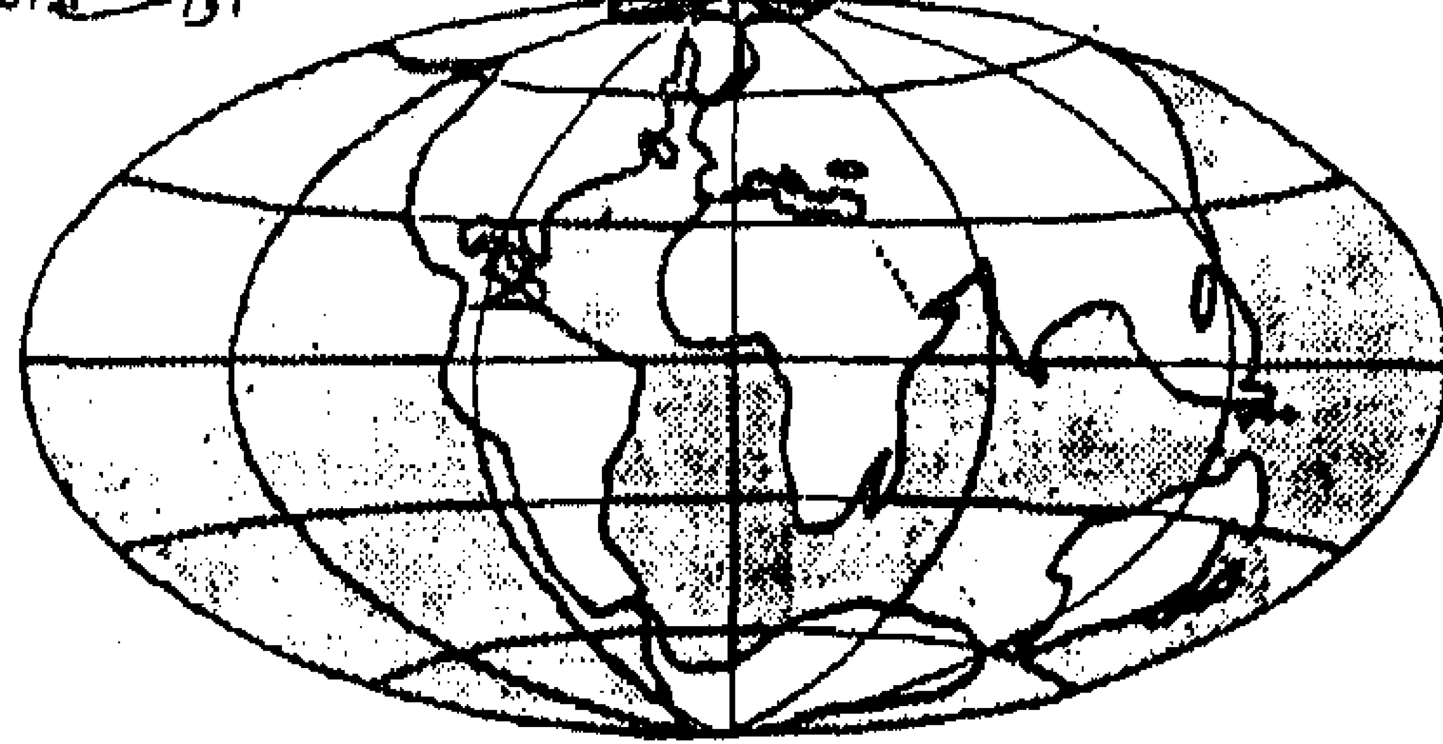
أواخر الزمن الجيولوجي الأول



بداية الزمن الجيولوجي الثالث



أواسط البلايوستوسين



(شكل ١٠٣) تطور أشكال اليابس والماء خلال العصور الجيولوجية المختلفة حسب تفسير فجنر

Differential attratcion of the moon and the sun on the الأرض *continents"* ، وقد أدت هذه القوة الى زحزحة القارات نحو الغرب كما هو الحال بالنسبة للأمريكتين، ونجم عن ذلك تكوين سلاسل جبلية طولية على هوامش القارات وتتمثل في سلاسل الروكى والأنديز، كما تزحزحت قارة آسيا غرباً وتركت أمامها الأقواس الجزرية القارية.

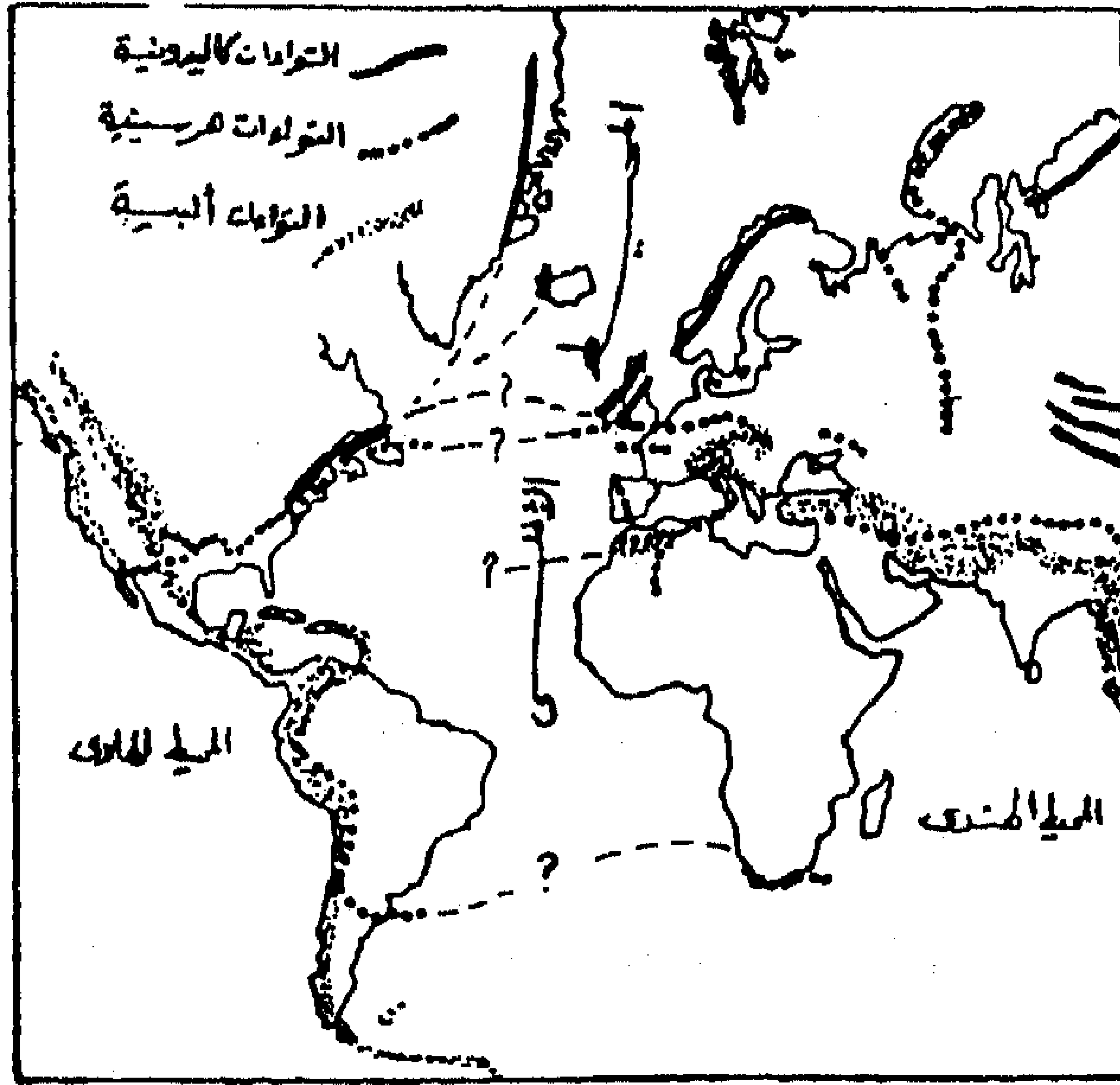
وقد بنى فجنر نظريته على أساس الأدلة العلمية المختلفة الآتية :

أ – تشابه التركيب الصخرى والتطور الجيولوجى لأجزاء قارة جندوانا القديمة (شرق أمريكا الجنوبية والنصف الجنوبى من أفريقيا وشبه القارة الهندية

وغرب أستراليا والقارة القطبية الجنوبية) . هذا الى جانب تشابه التاريخ الجيولوجي للعصر الكربوني الأسفل بصورة قوية في كل من هذه القارات المختلفة .

ب - تشابه امتداد السلاسل الجبلية المختلفة العمر الجيولوجي على جانبي الأطلسي. فقد لاحظ «فجنر» أن امتداد السلاسل الجبلية الكاليدونية في منطقة نيو انجلند بأمريكا الشمالية يتفق كثيراً مع امتداد السلاسل الجبلية الكاليدونية في شبه جزيرة اسكنديناوه وبالجزر البريطانية، كما تبين كذلك بأن هناك تشابهاً كبيراً من حيث نشأة السلاسل الجبلية الهرسينية وامتدادها في كل من البرازيل وأورجواي وجنوب أفريقيا (شكل ١٠٤) .

ولكن أخفق «فجنر» في تفسير امتداد السلاسل الجبلية فوق أرضية المحيطات. ولم تستطع الدراسات الجيولوجية الحديثة أن تؤكد إمتداد سلاسل جبال أطلس في شمال غرب أفريقيا الى الغرب لتتصل بجزر



(شكل ١٠٤) تشابه امتداد السلاسل الجبلية المختلفة
العمر الجيولوجي على جانبي المحيط الأطلسي

كنارى والرأس الأخضر. ولم ينجح الجيولوجيون حتى الوقت الحاضر فى كشف حلقة الاتصال بين سلاسل مرتفعات أطلس فى أفريقيا وسيراماديرا فى أسبانيا، وليس هناك أدلة تثبت تأثر قاع مضيق جبل طارق وفتح ممره المائى بتلك الالتواءات الجبلية.

جـ - تشابه الحفريات والمناخ القديم بكتل القارات القديمة على جانبى المحيط الأطلسى. وقد وجد فجنر ارتباطاً كبيراً بين حفريات صخور السيلورى الأعلى والديفونى بكل من جنوب أفريقيا وأمريكا الجنوبية،. وتنتشر فوق تلك التكوينات السابقة رواسب جليدية قديمة ترجع الى جليد القسم الأسفل من الزمن الجيولوجي الأول *Late Paleozoic Continental Glacition*.

وقد نجح الباحثون فى العثور على رواسب جليدية قديمة تتبع العصر الكربونى وتعرف باسم رواسب التيليت *Tillite*. واكتشفت هذه الرواسب الجليدية فى مناطق أوريسا *Orissa* والبنجاب وبالمقاطعات الوسطى فى الهند فى عام ١٨٥٧ . ثم اكتشفت نماذج متشابهة لنفس هذه المجموعة من الرواسب الجليدية فى جنوب غرب أستراليا فى عام ١٨٥٩، وفى جنوب أفريقيا فى عام ١٨٧٠ وفى شرق البرازيل فى عام ١٨٨٨ . ويطلق العلماء على الطفلّ الجليدى الكربونى فى جنوب أفريقيا اسم دويكا تليت *Dwyka Tillite*. وتعرضت هذه الرواسب لفعل عوامل التعرية مدة طويلة من الزمن الجيولوجي ولكن بعضها لا يزال منطمراً ومدفوناً أسفل رواسب أخرى حديثة العمر الجيولوجى. وأظهر مواقع تلك الرواسب الجليدية الكربونية تتمثل فيما بين الترنسفال شمالاً والرأس الجنوبى لأفريقيا جنوباً. وقد صاحب هذه الرواسب الجليدية الأسطح المصقولة والحذوز الصخرية، والكتل الضالة ما يؤكد حدوث عصر جليدى قديم (شكل١٠٥).



(شكل ١٠٥) أجزاء كتلة جندوانا والتوزيع الجغرافى للرواسب الجليدية الكربونية فى مناطق هى مدارية المناخ اليوم وتوضح الأسهم اتجاه إنسياب الكتل الجليدية القديمة

ومن ثم أكد فجنر بأن كتلة جندوانا تعرضت لعصر جليدى قديم خلال بداية العصر الكربونى وذلك قبل تعرضها لعمليات الزحزحة الأفقية وهكذا أمكن تفسير التوزيع الجغرافى لتلك الرواسب الجليدية فى كل من غرب أستراليا وهضبة الدكن وجنوب أفريقيا وشرق البرازيل، وهى مناطق صحراوية حارة جافة مدارية المناخ فى الوقت الحاضر (١).

د - لاحظ فجنر اختلافاً كبيراً بين الحفريات النباتية والحيوانية فى أمريكا الشمالية وأوربا عن تلك فى أجزاء جندوانا فى القسم الجنوبى من الكرة الأرضية. فبينما يتمثل فى أجزاء جندوانا القديمة رواسب جليدية قديمة وحفريات نباتية أشبه بنباتات اللبد النباتى، تعيش فى مناخ بارد ومنها نباتات جلوسبتريس *Glossopteris* ، وجانجامويتريس *Gangmopteris*،

(1) Holms, A., "Principles of physical geology", London, (1959), p. 487-509.

يبدو أن الرواسب والحفريات التى عثر عليها فى صخور العصر الكربونى بأمريكا الشمالية وأوربا إنما هى من تلك النباتات والحيوانات التى تيعش فى مناخ حار رطب. وهكذا تبين أن طبقات الفحم الكربونى فى أمريكا اشمالية وأوربا عبارة عن رواسب غابات ونباتات مستنقعات مدارية رطبة، كما عثر فجنر على رواسب تربة اللاتيريت ورواسب البوكسيت وهى أدلة على المناخ الحار الرطب. وقد لوحظت هذه الرواسب فيما بعد فى كل من كنتكى *Kentucky* وأوهايو *Ohio* بالولايات المتحدة الأمريكية، وأيرشير *Aurshir* فى اسكتلندا، وبحوض موسكو بروسيا، وفى شبه جزيرة شانتونج بالصين الشعبية.

هـ - لاحظ فجنر أن السواحل الغربية لأفريقيا يمكن أن تلتصق بالسواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية بحيث تظهر على شكل منطقة واحدة تعرضت للانقسام قديماً ثم تزحزت أفقياً عن بعضها البعض واحتلت مواقعها الحالية (شكل ١٠٦).



(شكل ١٠٦) التحام السواحل الغربية لأفريقيا مع السواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية وتداخلهما مع بعضهما البعض عند خط عمق ٦٥٠٠ قدم

ومع ذلك لم يشر فجنر الى العوامل التى أدت الى تزحزح القارات السيالية فى نهاية العصر الكربونى، وعدم تزحزح القارات الحالية اليوم بنفس الصورة التى حدثت بها فى الماضى. كما ربط فجنر بين أشكال السواحل الشرقية والغربية للمحيط الأطلسى على إعتبار أنهما انفصلاً عن بعضهما البعض خلال العصر الكربونى، دون أن يضع فى الإعتبار أشكال الرفارف القارية لهذه السواحل فى ذلك الوقت. فمن المعلوم أن السواحل التى ترتبط بقارات اليابس اليوم هى وليدة التغيرات البلايوستوسينية الحديثة، وليست نتاج التزحزح القارى فى العصر الكربونى الأعلى كما أوضح فجنر. ولكن هذا لا يضعف من شأن النظرية حيث تلتحم الأطراف الشرقية مع الأطراف الغربية للمحيط الأطلسى عند خط عمق ٦٥٠٠ قدم.

٣ - نظرية انسلاخ القمر وانفصاله عن وجه الأرض :

أول من رجح هذه النظرية هو العالم تشارلس داروين فى عام ١٨٧٨م، واعتقد بأن القمر وهو النجم التابع للأرض وانفصل عنها تبعاً لتفاعل كل من قوة جذب الشمس للأرض من ناحية وقوة الطرد المركزية الناشئة عن دوران الأرض حول نفسها من ناحية أخرى. وقد أكد هذه الآراء بصورة عامة أصحاب نظرية الشمس التوأمية، وانشطار الكواكب الشمسية ومن بينهم *H. N. Russell, 1925*، وليتلتون *R. A. Lyttleton* فى عام ١٩٣٦، وروس جن *Ross Gunn* وبناجى *A. C. Baneje*، واعتقد هؤلاء أنه من المألوف أن يتبع كل من كواكب المجموعة الشمسية أقمار صغيرة تابعة لها، وقد يكون معظمها منشطراً من هذه الكواكب نفسها. وعلى ذلك فقد انسلخ القمر من الحوض العميق الهائل الحجم فى الكرة الأرضية الذى يشغله اليوم المحيط الهادى (١).
ومن بين الملاحظات التى تؤيد هذه النظرية :

أ - الشكل الدائرى لحوض المحيط الهادى داخل حد الاندسيت (٢)، والذى

---

(1) Cowen, R. C., "Frontiers of the sea", London, (1969).

(٢) الحد السيزمى الذى يفصل بين صخور السيال القارية وصخور السيما المحيطية.

يمثل فى نفس الوقت محيط الجزء القمرى الذى كان متصلاً بالأرض قبل انفصاله عنها.

ب – إن جميع المحيطات الأخرى على سطح الأرض، فيما عدا المحيط الهادى تتميز بأن لها قشرة صخرية مركبة من صخور الجرانيت والسيال *Sial* متعاقبة فوق صخور السيما *Sima*، التى تشغل معظم أرضية المحيط الهادى. وان دل هذا على شىء فإنما يدل على أن قشرة صخور السيال التى كانت تابعة للمحيط الهادى قد انفصلت ابان انسلاخ القمر عن كوكب الأرض.

ومن مؤيدى هذه النظرية كذلك ازموند فيشر *Osmond Fisher* . ومن نتائج حسابات هذا الباحث لطول نصف قطر القمر، أكد أن أبعاد المسطحات المائية للمحيط الهادى تتفق كثيراً مع شكل القمر المستدير، وأن القمر يمكن أن يملأ الحيز المائى للمحيط بطبقة صخرية يبلغ سمكها نحو ٦٠ كيلو مترا، غير أن هذه النظرية قد واجهت عدة اعتراضات من أهمها :

أ – إن سمك الصخور التى تزعم النظرية إنتزاعها من موقع المحيط الهادى والتى تبلغ نحو ٩٠ كيلو متراً، أكبر من سمك القشرة السطحية للقارات (السيال)، والتى تبلغ أقصى سمك لها نحو ٤٥ كيلو متراً فقط.

ب – إن كثافة المواد المعدنية التى يتركب منها القمر فى الوقت الحاضر أعلى بكثير من كثافة صخور السيال القارية.

ويعتقد أصحاب هذه النظرية أن القمر عند إنسلاخه من الأرض لم ينتزع منها قشرة السيال فقط، بل جذب معه أيضاً بعض صخور من السيما كذلك. وتبعاً لحركة دوران القمر، وقوة كل من الجذب والطرد التى نشأت فيه اختلطت هذه المواد معاً، وترتبت من جديد، وازدادت كثافتها عما كانت عليه من قبل.

وفيما يختص بكفية نشأة البحار والمحيطات الأخرى فيعتقد أصحاب هذه

النظرية بأنه نتيجة لحدوث انسلاخ قاع المحيط الهادى وانفصال كتلة هائلة السمك من الصخور البازلتية السفلى نشأت حركات تصدع وتشقق فى الصخور الجرانيتية المجاورة، وخاصة على الجانب الآخر المواجه لذلك الجانب الذى انسلخ منه القمر. وتبعاً لذلك سرعان ما اتسعت جوانب هذه الشقوق بفعل دوران الأرض حول محورها من جهة وحول الشمس من جهة أخرى. وبعد أن تعرضت الأرض لعمليات التبريد التدريجى البطىء، بدأت تتشكل هذه المقعرات الجرانيتية الكبرى لتكون المسطحات المائية على الوجه الآخر من كوكب الأرض. وتبعاً لهذه النظرية فإن الأحواض المحيطية تكونت على سطح كوكب الأرض خلال مراحل تكوين هذا الكوكب نفسه (أى منذ ٥٠٠٠ مليون سنة)، وليس بعد أن تكونت القشرة الأرضية وتزحزحت القارات فى العصر الكربونى (أى منذ ٣٥٠ مليون سنة) كما أوضح فجنر فى عام ١٩١٤.

٤ – نظرية الصفائح أو الألواح الجيولوجية :

Plate tectonic theory

تسهم نظرية الألواح أو الصفائح الجيولوجية فى تعميق فهم التغيرات التكتونية التى تنتاب باطن الأرض اليوم، والتوزيع الجغرافى للسلاسل الجبلية ومناطق تركز حدوث الزلازل والبراكين على سطح الأرض. كما ألقت هذه النظرية الضوء على مورفولوجية أرضية البحار والمحيطات وأسباب تكوين الحواجز المحيطية *Submarine ridges* والسهول المحيطية *Abyssal Plains* والخوانق المحيطية العميقة *Deep sea trenches* [١].

(١) تختلف الخوانق المحيطية العميقة (أو الخنادق) Deep Sea Trenches عن الأخاديد المحيطية Submarine Canyons التى تتكون فوق أرضية الرفارف القارية، وذلك من حيث الشكل والامتداد والحجم والتوزيع الجغرافى والنشأة.

راجع : د. حسن ابو العينين «جغرافية البحار والمحيطات» ط ١ (١٩٦٧) ، ط ٩ (١٩٩٦).

وترجح هذه النظرية بأن قشرة الأرض (فيما بين عمق ٥٠ حتى ١٥٠ كم) تتألف من القشرة القارية *Continental Crust* والقشرة المحيطية *Oceanic crust* وأجزاء من أعالي الكتلة الغطائية للأرض *mantle* مكونة ما يعرف باسم النطاق الصخرى *Lithosphere* للأرض. ويقع هذا النطاق الأخير فوق النطاق الساخن شبه اللزج *Semiplastic* للاثنوسفير *Asthenosphere* الذى يمتد بدوره من قاعدة النطاق الصخرى للأرض وحتى عمق ٧٠٠ كم فيها. وترجح هذه النظرية بأن النطاق الصخرى للأرض القصم أو الهش *Brittle* ينكسر عادة الى ألواح أو قطع فسيفسائية صلبة *Mosaic of rigid plates* تتحرك أفقياً الواحدة بعد الأخرى نحو سطح الأرض مثل تحرك قطع الثلج فى المياه. ويعمل النطاق الصخرى للأرض على حصر حركة هذه الألواح أفقياً وأسفله. ومن ثم فإن معظم مناطق حدوث النشاط التكتونى والهزات الأرضية وطفوح المواد اللافية تتركز عند الحد الفاصل بين كل لوح جيولوجى وآخر.

وتختلف نظرية الألواح الجيولوجية عن نظرية التزحزح الرأسى للقارات والتى سبق أن رجحها من قبل كل من كلفن وسولاس ولابوراث ولاف وجوريجورى وعن نظرية زحزحة القارات أفقياً *Continental Drifts Theory* والتى رجحها من قبل فرنسيس بيكون وانطونيو سنيد وتايلور وألفريد فجنر ذلك لأنها تفسر بصورة علمية كيفية تحرك أجزاء قشرة الأرض أفقياً من موقع الى آخر خلال الفترات الجيولوجية المختلفة وعدم تحركها بنفس المقدار فى الوقت الحاضر وذلك وفقاً للخصائص الجيوفيزيقية لمواد باطن الأرض سواء أكانت المنصهرة أو شبه المنصهرة أو المتجمدة تبعاً لمدى تفاعل المواد المشعة فيها (١).

---

(١) حسن ابو العينين ،الألواح الجيولوجية التكتونية، تأليف د. س. هيلر وترجمة أ. د. حسن ابو العينين - الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٨٨) ص ١ - ٢١٦.

الفصل التاسع عشر
الخصائص الطبيعية والكيميائية
للمياه فى البحار والمحيطات

من المهم فى هذا المجال الاشارة الى بعض الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحار والمحيطات حيث يتوقف عليها حركة المياه وتنوع مظاهرها وإختلاف مجموعات الكائنات البحرية التى تعيش فيها، والامكانات الإقتصادية التى تتمثل فيها.

أولاً : حرارة مياه البحار والمحيطات :

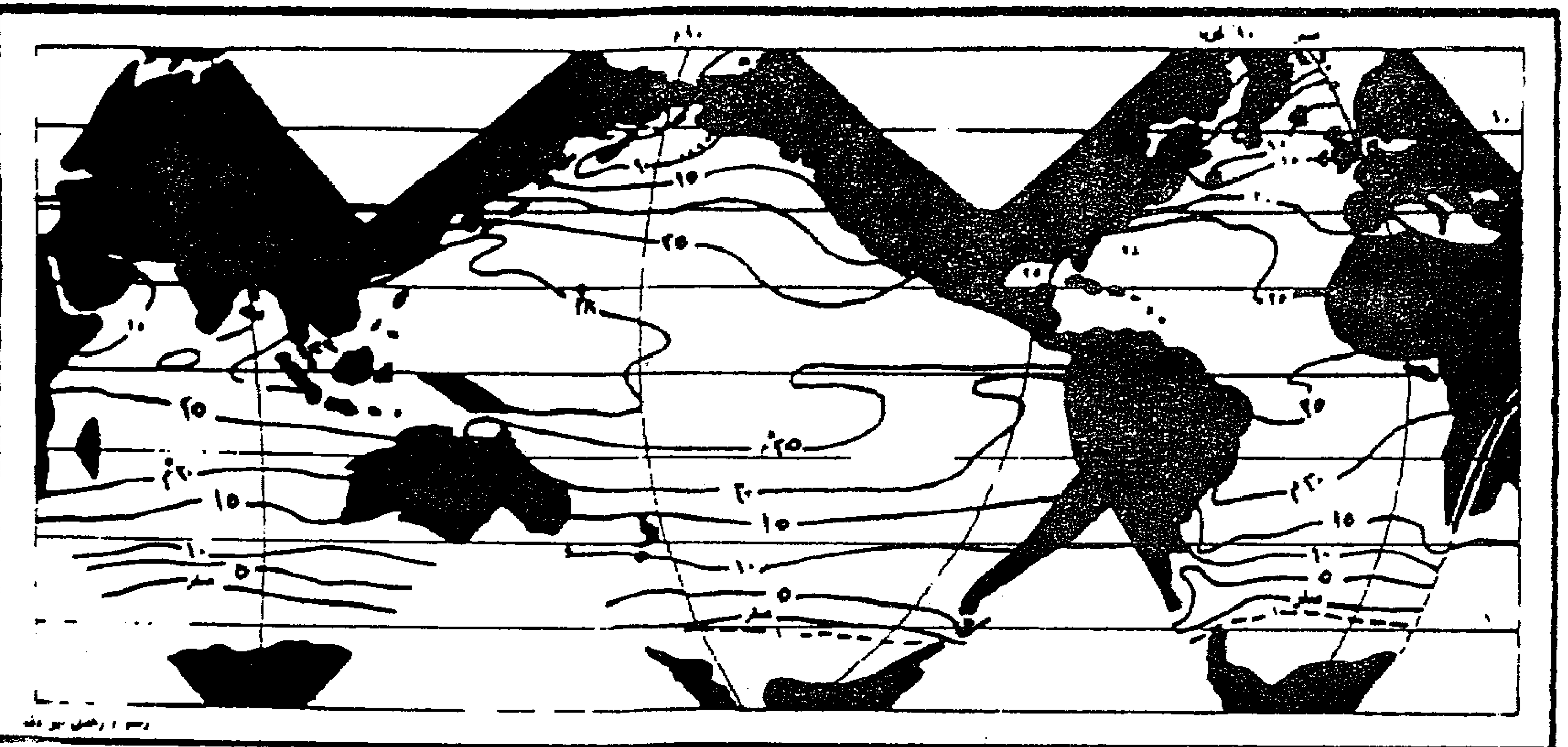
اعتقد معظم الباحثين حتى منتصف القرن السابع عشر أن مصدر حرارة مياه البحر أساسها الحرارة المشعة من باطن الأرض نفسها. وظن البعض منهم أن حرارة المياه ترتفع كلما توغلنا فى المياه العميقة بالمحيط. ولكن دلت نتائج الدراسات الحديثة أن درجة حرارة المياه تنخفض بالتدريج كلما اتجهنا صوب المياه العميقة فوق قاع المحيط. ومن ثم عرف الباحثون أن المصدر الأساسى لحرارة مياه البحار والمحيطات هو الإشعاع الشمسى. وقد تبين أن درجة حرارة المياه السطحية تختلف من مسطح مائى إلى آخر على سطح الكرة الأرضية، بل تختلف كذلك فى المسطح المائى الواحد خلال فصول السنة المختلفة.

خطوط الحرارة المتساوية بمياه البحار والمحيطات :

وهى عبارة عن خطوط إنشائية تصل بين مواقع المسطحات المائية التى تتساوى فى درجة حرارتها. ويعد ماثيو فونتين مورى *M. F. Maury* عام ١٨٥٢ أول من أشار إلى استخدام هذه الخطوط المتساوية القيمة لحرارة مياه البحار فى دراسته للخصائص الطبيعية لمياه البحار.

وقد تبين أن أعلى متوسط سنوى لدرجة حرارة المياه السطحية بالمسطحات المائية للمحيطات المختلفة يتمثل فى المحيط الهندى عند دائرة عرض٤,٦٥° شمالاً حيث يبلغ هنا نحو ٢٧,٨٨° م. وقد أوضحت نتائج الدراسات الأقيانوغرافية كذلك أن المياه السطحية بالمحيط الأطلسى أدفأ نسبياً من المياه السطحية بالمحيط الهادى. فيبلغ المتوسط السنوى لدرجة حرارة المسطحات المائية التى تقع فيما بين دائرتى عرض ٥٠°، ٦٠° شمالاً بالمحيط الأطلسى نحو ٨,٦٦° م بينما تبلغ فى المحيط الهادى نحو ٥,٧٤° م. ويبلغ المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه السطحية التى تقع فيما بين دائرتى عرض ٤٠° – ٥٠° شمالاً المحيط الأطلسى نحو ١٣,١٦° م، بينما يبلغ المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه السطحية عند نفس هذه العروض بالمحيط الهادى نحو ٩,٩٩° م. ويبلغ المتوسط السنوى لدرجة حرارة المسطحات المائية الإستوائية التى تمتد فيما بين خط الإستواء ودائرة عرض ١٠° شمالاً بالمحيط الأطلسى نحو ٢٦,٦٦° م، والمتوسط السنوى لحرارة المياه السطحية بالمحيط الهادى عند نفس هذه العروض نحو ٢٧,٢٠° م، وبالمحيط الهندى تبلغ نحو ٢٧,٨٨° م. ويوضح الجدول الآتى المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه السطحية بالمحيطات المختلفة فى نصف الكرة الشمالى (شكل ١٠٧).

دوائر العرض المختلفة (فى نصف الكرة الشمالى)	درجة حرارة المياه السطحية		
	المحيط الأطلسى (م°)	المحيط الهندى (م°)	المحيط الهادى (م°)
٦٠ – ٧٠°	٥,٦٦°	–	–
٥٠ – ٦٠°	٨,٦٠	–	٥,٧٤
٤٠ – ٥٠°	١٣,١٦	–	٩,٩٩
٣٠ – ٤٠°	٢٠,٤٦	–	١٨,٦٢
٢٠ – ٣٠°	٢٤,١٠	٢٦,١٤	٢٣,٣٨
١٠ – ٢٠°	٢٥,٨٦	٢٧,٢٣	٢٦,٤٢
صفر – ١٠°	٢٦,٦١	٢٧,٨٨	٢٧,٢٠



(شكل ١٠٧) خطوط الحرارة المتساويه للمياه السطحيه فى البحار والمحيطات (مْ)

وإذا انتقلنا إلى نصف الكرة الجنوبى لتبين أن المتوسطات السنوية لدرجة حرارة المياه السطحية أقل بكثير من مثيلتها فى نفس العروض بنصف الكرة الشمالى. فنلاحظ أن المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه السطحية بالمحيط الأطلسى الجنوبى نحو – ١,٣٠ْ م. كما يتبين أن المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه السطحية فى العروض العليا بالمحيط الهادى أدفأ نسبياً من مثيلتها فى نفس العروض بالمحيطات الجنوبية. فبالنسبة للمسطحات المائية الواقعة بين دائرتى عرض ٥٠ – ٦٠ جنوباً، ٤٠ْ – ٥٠ْ جنوباً تبين أن المتوسط السنوى لدرجة حرارتها بالمحيط الهادى تبلغ نحو ٥,٠٠ْ م، ١١,١٦ْم بينما فى المحيط الهندى تبلغ نحو ١,٦٣ْ م و٨,٦٧ْ وفى المحيط الأطلسى تبلغ نحو ١,٧٦ْ و٨,٦٨ْ م على الترتيب. ويعزى إنخفاض درجة حرارة المياه السطحية بالمحيطين الأطلسى والهندى فى هذه العروض العليا إلى ما يلى :

أ – تساهم المياه المنصهرة من بعض كتل الجليد المتجمعة فى أنتارتيكا، وجبال الثلج العائمة على إنخفاض درجة حرارة المياه السطحية.

ب – إنخفاض درجة حرارة المياه السطحية بفعل الرياح الغربية الباردة والرياح القطبية الباردة.

ويوضح الجدول الآتى المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه السطحية بالمحيطات المختلفة فى نصف الكرة الجنوبى.

دوائر العرض المختلفة (فى نصف الكرة الجنوبى)	درجة حرارة المياه السطحية (مْ)		
	المحيط الأطلسى (مْ)	المحيط الهندى (مْ)	المحيط الهادى (مْ)
٦٠ – ٧٠ْ	– ١,٣٠ْ م	– ١,٥٠ْ م	– ١,٣٠ْ م
٥٠ – ٦٠ْ	١,٧٦	١,٦٣	٥,٠٠
٤٠ – ٥٠ْ	٨,٦٨	٨,٦٧	١١,١٦
٣٠ – ٤٠ْ	١٦,٩٠	١٧,٠٠	١٦,٩٨
٢٠ – ٣٠ْ	٢١,٢٠	٢٢,٠٠	٢١,٥٣
١٠ – ٢٠ْ	٢٣,١٦	٢٥,٨٥	٢٥,١١
صفر – ١٠ْ	٢٥,١٨	٢٧,٤١	٢٦,٠١

وحيث تسقط الأشعة الشمسية على المياه السطحية ثم تتغلغل إلى المياه العميقة، فإن درجة حرارة المياه تختلف رأسياً كذلك. فيلاحظ أن المياه السطحية أعلى حرارة من المياه العميقة حيث يكاد لا يصل إلى الأخيرة (عندما تقع على عمق ٢٠٠ م) أية أشعة حرارية. ويبلغ المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه بالعروض الإستوائية عند عمق ٢٠٠ م نحو ٢٠ْ م. (تبلغ عند سطح الماء نحو ٢٦ْ م)، بينما يبلغ المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه بالعروض المدارية فى نصفى الكرة الشمالى والجنوبى عند عمق ٢٠٠ م نحو ١٤ْ م (شكل ١٠٨)، وتنخفض درجة حرارة المياه عن ذلك كلما اتجهنا صوب القطبين شمالاً وجنوباً.

وقد أوضحت الدراسات الأقيانوغرافية كذلك أن المتوسطات الشهرية والسنوية لدرجات حرارة المياه عند عمق ٤٠٠ متر من السطح تقل كثيراً عن تلك بالمياه السطحية كما تتميز خطوط الحرارة المتساوية عند هذه الأعماق البعيدة ببساطتها، ولا تتأثر حرارة المياه المحيطية عند هذه الأعماق بأشعة الشمس الحرارية، بل تتشكل تبعاً لحركات التيارات الصاعدة وتحرك الكتل



(شكل ١٠٨) خطوط الحرارة المتساوية للمياه السطحية على عمق ٢٠٠ متر (بالدرجات المئوية)

المائية المختلفة. ومن دراسة (شكل ١٠٩) يلاحظ أن المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه عند عمق ٤٠٠ متر بالمياه الإستوائية والمدارية لا يزيد عن ١٠°م. وتنخفض درجة حرارة المياه عن ذلك كلما اتجهنا شمالاً أو جنوباً صوب القطبين (١).

ومن دراسة المتوسط السنوى العام لدرجة المسطحات المائية بالمياه المحيطية الكبرى ككل، نجد أن المتوسط السنوى لدرجة حرارة المياه السطحية فى المحيط الهادى يبلغ نحو ٦٦,٣٨° ف (١٩,١٠° م) وبمياه المحيط الهندى ٦٢,٦٥° ف (١٧,٠٣° م) وبمياه المحيط الأطلسى ٦٢,٤٤° ف (١٦,٩١° م) ومن ثم يتضح أن المياه السطحية للمحيط الهادى تعد أكثر المحيطات دفئاً. وقد سجلت أعلى درجة حرارة للمياه السطحية بالمحيط الهادى وذلك فى النصف الغربى بالعروض المدارية منها، حيث بلغ المتوسط السنوى هنا نحو ٣٢,٢° م (٨٩,٩٦° ف).



(شكل ١٠٩) خطط الحرارة المتساوية للمياه على عمق ٤٠٠ متر (م°)

(1) Sverdrup, H. U., "The oceans"., Prentice Hall. Inc. (1962).

(2) Davis, R. A., "Principles of oceanography" 2nd edi (1978) p. 120.

ثانياً : ملوحة مياه البحار والمحيطات :

تختلف الأملاح التى تتمثل بمياه البحار والمحيطات عن تلك بالمياه العذبة فوق القشرة الأرضية، ذلك لأن الأولى تشكلت بظروف طبيعية وبيولوجية تختلف تماماً عن المياه العذبة للأنهار أو البحيرات. ودلت الدراسات على أن مياه الأنهار تختلف عن مياه البحار ليس فقط من حيث نسبة الملوحة بها، (متوسط نسبة الملوحة فى الأنهار ١٥ فى الألف وفى البحار ٣٥ فى الألف)، ولكن تختلف كذلك من حيث التركيب الكيميائى للأملاح فى كل منهما. وعند تحليل الأملاح بمياه الأنهار وجد أنها تتركب من :

كربونات	٠٥٧,٧ ٪
سلفات	٠١١,٤ ٪
سليكات	٠٩,٩ ٪
ملح عادى	٠٢,٢ ٪
عناصر ومواد أخرى	٠١٨,٨ ٪

وتعزى ملوحة مياه البحار والمحيطات إلى وجود كلوريد الصوديوم وبعض الأملاح الأخرى بمياه البحر. ويمكن القول أنه يتمثل فى كل ١٠٠٠ جرام من مياه البحر نحو ٣٥ جرام من الأملاح المذابة. وقد أثبتت التحليلات الكيميائية لمياه البحر أن هذه النسبة من الأملاح تتألف من :

الأملاح		نسبة وجودها (جزء فى الألف)
كلوريد الصوديوم	$Na\,Cl$	٢٧,٢١٣
كلوريد الماغنسيوم	$Mg\,Cl_2$	٣,٨٠٧
سلفات الماغنسيوم	$Mg\,SO_4$	١,٦٥٨
سلفات الكالسيوم	$Mg\,SO_4$	١,٢٦٠
سلفات البوتاسيوم	$K_2\,SO_4$	٠٨٦٣
كربونات الكالسيوم	$Ca\,CO_3$	٠,١٢٣
بروميد الماغنسيوم	$Mg\,Br_2$	٠,٠٧٦
المجموع		٣٥,٠٠٠

وإلى جانب هذه القائمة السابقة من الأملاح الرئيسة بمياه البحار والمحيطات هناك أنواع أخرى متنوعة، إلا أنها أقل أهمية تبعاً لنسبتها البسيطة المحدودة جداً بالمياه. وعلى الرغم من أن نسبة الأملاح فى مياه البحر تختلف من مكان إلى آخر، إلا أن النسبة بين الأملاح الرئيسة السابقة بالمياه تظل كما هى دون تغيير. أى لو فرض أن نسبة كلوريد الصوديوم فى ١٠٠٠ جرام من مياه البحر إنخفضت من نسبتها العادية ٢٧,٢١٣ فى الألف إلى نحو ٩,٠٧١ فى الألف فقط، فإن نسب وجود جميع الأملاح الأخرى تنخفض كذلك بنفس الدرجة. فتصبح نسبة كلوريد الماغنسيوم ١,٢٦٩ فى الألف، ونسبة سلفات الماغنسيوم ٠,٥٥٢ فى الألف ونسبة سلفات الكالسيوم ٠,٤٢٠ فى الألف وهكذا...... (١).

وبينما تتألف أملاح البحار أساساً من الكلوريدات وخاصة كلوريد الصوديوم، تتركب أملاح الأنهار أساساً من الكربونات وخاصة كربونات الكالسيوم. ويرجع تناقص نسبة كربونات الكالسيوم بمياه البحار (على الرغم من أن الأنهار تصب كميات كبيرة من هذه الكربونات فيها) (٢) إلى إن بعض الكائنات البحرية المتنوعة مثل الأصداف والقواقع والمرجان تعمل على استخلاص كربونات الكالسيوم (الجير) من المياه، واستخدامها فى بناء قشورها وأصدافها. كما تمتص الدياتوم *Diatoms* كميات كبيرة من السليكا فى مياه البحار وتستغلها فى عملية بناء قشورها. وقد نجم عن إنخفاض نسبة كربونات الكالسيوم، ارتفاع نسبة كلوريد الصوديوم بمياه البحار والمحيطات.

ورجح الأستاذ سفردرب *Sverdrup* (٣) فى عام ١٩٦٢ أن إرتفاع نسبة كلوريد الصوديوم بمياه البحار (٢٧ فى الألف) وإنخفاض نسبة أملاح

---

(1) Lake, P., "Physical Geography", Cambridge, (1958), p. 145.

(٢) قدر الباحثون أن كمية أملاح الكالسيوم الذائبة والتى تصبها الأنهار فى البحار تبلغ نحو ٥,٤ × ١٠^٨ كم^٣.

(3) Sverdrup, H. U., et al, "The oceans." Prentice-Hall, (1962), p. 10.

البوتاسيوم (٠,٨ فى الألف) تعزى إلى العوامل الآتية :

أ – تعد الغازات المنبثقة مع المصهورات البركانية التى كانت تحدث خلال العصور الجيولوجية المختلفة المصدر الرئيسى لوجود الكلور فى مياه البحر.

ب – تتعرض كميات كبيرة من غازات الكلور بالصخور البركانية والمصهورات اللافية فوق سطح الأرض، للذوبان السريع. ومن ثم إنخفضت نسبة وجود الكلور فى صخور سطح الأرض بينما ارتفعت كميته المذابة فى مياه البحار.

جـ – ساعد وجود الجلوكونيت *glauconite* (تكوين كيميائى بمياه البحر، ويتركب من سليكات الألومنيوم أو المغنسيوم) على إنخفاض نسبة وجود البوتاسيوم فى مياه البحر تبعاً لامتصاصه له. ويضيف الجلوكونيت لمياه البحر اللون الأخضر، وعندما يقال أن الرواسب المحيطية خضراء اللون، فمعنى هذا أن نسبة وجود الجلوكونيت فيها مرتفعة.

وتبلغ متوسط نسبة الملوحة فى البحار المتسعة المفتوحة ٣٣ فى الألف، وتقل النسبة عن ذلك بجوار مصبات الأنهار الكبرى. بينما ترتفع نسبة الملوحة فى البحار التى لا يصب فيها كميات كبيرة من مياه الأنهار أو الثلاجات أو تلك التى يزيد فيها نسبة الفاقد من المياه بفعل التبخر عن المكتسب من المياه بفعل الأمطار الساقطة أو المياه الجارية. ولذا ترتفع نسبة الملوحة فى البحر الأحمر إلى نحو ٤١ فى الألف تبعاً لقلة المياه المكتسبة وارتفاع نسبة المياه المفقودة بفعل التبخر.

ثالثاً : إختلاف كمية الأكسجين في مياه البحار والمحيطات :

لوجود الأكسجين الذائب فى مياه البحار والمحيطات أهمية كبرى ليس فقط لأنه يمثل أهم العوامل التى تساعد على تنشيط الكائنات البحرية، خاصة الدقيقة منها (مثل الدياتوم والفورامنيفرا)، ولكن كذلك لأنه عبارة عن مؤشر يرمز إلى حركة المياه فى البحار والمحيطات، وتحديد مدى خصوبتها،

والكائنات البحرية التى قد تعيش فيها. ومن ثم يعتبر كل من الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون من بين أهم الغازات المذابة بمياه البحار، هذا على الرغم من أن كمية الأكسجين المذابة فى المياه أقل بكثير من تلك التى تتمثل فى الغلاف الجوى، فبينما تبلغ فى الماء نحو ٩ ملليلتر، تبلغ فى الهواء نحو ٢٠٠ ملليلتر فى اللتر.

ويتضح من الدراسات التى أجريت فى مياه المحيط الأطلسى الشمالى أن كمية الأكسجين تزداد فى المياه الواقعة بالعروض العليا، وخاصة عند عمق ٣٥٠ متر حيث تبلغ هنا نحو ٦,٢٨ ملليلتر فى اللتر الواحد. بينما تقل كمية الأكسجين بمياه المحيط الأطلسى فى العروض الدنيا حيث يبلغ المتوسط هنا نحو ٥,٣٠ ملليلتر فى اللتر الواحد. ويوضح الجدول الآتى كمية الأكسجين بمياه الميحط الأطلسى عند دوائر عرض مختلفة وعلى أعماق مختلفة كذلك. (ملليلتر / لتر).

كمية الأكسجين بالمياه عند مواقع مختلفة							
دائرة عرض خط طول		٥٠,٢٧° ش ٤٠,١٤° غ	٣٣,١٩° ش ٦٨,٤٨° غ	١٩,١٦° ش ٢٧,٢٧° غ	٣٢,٤٩° ج ٤٠,١٠° غ	٥٨,٣٧° ج ٤٠,٢٣° ش	٦٤,٤٣° ج ١٤,٤١° ش
الأعماق (متر)	٢٠٠٠	٦,٣٠	٦,٠٨	٥,٠٧	٤,٧١	٤,٨٥	٤,٦٨
	٢٥٠٠	٦,٢٦	٦,٠٤	٥,٣٠	٥,٥٣	٤,٩٣	٤,٥١
	٣٠٠٠	٦,١٧	٥,٩٩	٥,٢٧	٥,٦٥	٥,٠٢	٤,٨٩
	٣٥٠٠	٦,٢٨	٦,٠٣	٥,٣٢	٥,٤٦	٤,٩٢	٤,٨٩
	٤٠٠٠	٦,٣٤	٦,١٢	٥,٤٨	٤,٨٨	٥,٢٠	٥,١٤

رابعاً : كثافة مياه البحار والمحيطات :

تتشكل كثافة المياه تبعاً لاختلاف كل من درجة الحرارة ونسبة الملوحة بالمياه والضغط الواقع عليها (أى اختلاف عمق المياه). ومن ثم فإن العوامل التى تؤثر فى تغيير هذه الخصائص تؤثر بدورها فى تنوع كثافة المياه. ولما

كانت درجة حرارة المياه تختلف من مسطح مائى إلى آخر بل وتختلف فى المسطح المائـى الواحد على الأعماق المختلفة، فإن كثافة مياه البحار تختلف بالكتل المائية أفقياً ورأسياً كذلك. وتحسب الكثافة بالجرام لكل سنتميتر مكعب.

ويمكن القول بأنه ينجم عن إنخفاض درجة حرارة مياه البحر، وإزدياد كمية التساقط والمياه التى تصبها الأنهار، (أو بمعنى آخر انخفاض نسبة الملوحة بالمياه) أن تقل كثافة مياه البحر. وينتج عن إرتفاع درجة حرارة مياه البحر، وتوالى عمليات التبخر الشديدة (أى ارتفاع نسبة الملوحة) إزدياد كثافة مياه البحر. وإذا كانت المياه السطحية بالبحار أعلى كثافة من المياه التى تقع أسفلها مباشرة، فينتج عن ذلك حدوث تيارات رأسية بالمياه تتجه من أعلى إلى أسفل، أى تتجه المياه الأعلى كثافة أسفل المياه الأقل كثافة. ومن ثم فإن المياه بالطبقات السفلية من المحيط تتميز بارتفاع كثافتها عن المياه السطحية. ولكن لا يرجع ارتفاع كثافة المياه السفلية هنا إلى إرتفاع درجة حرارتها بل ترجع أساساً إلى ارتفاع نسبة الملوحة فيها وبرودتها الشديدة وانضغاطها. وعلى ذلك فإن منحنى الكثافة بمياه البحار هو عبارة عن العلاقة المتبادلة بين كل من درجة حرارة المياه ونسبة ملوحتها فى الأعماق المختلفة.

وقد تبين أن متوسط درجة كثافة المياه السطحية للمحيط تبلغ نحو ١,٠٢٥٠ جرام لكل سم٣، وعند عمق ٨٠٠ .متر من سطح الماء ترتفع كثافة المياه بها (حتى فى المسطحات المائية التى ترتفع بها نسبة الملوحة)، تعد محدودة نسبياً. ويعزى ذلك إلى أن التيارات الصاعدة وحركات التقليب الرأسية فى هذه المسطحات المائية الإستوائية لا تتغلغل إلى الأعماق البعيدة، بل تحدث فى طبقة مائية سطحية محدودة السمك. أما فى المسطحات المائية البحرية التى تشتد فيها حركات التقليب الرأسية للمياه، فتتغلغل المياه الأعلى كثافة صوب الأعماق البعيدة. وتصل المياه السطحية الأعلى كثافة إلى الأعماق البعيدة بالمحيط فى حالتين هما :

أ – ارتفاع نسبة الملوحة بالمياه السطحية، وعند تعرض هذه المياه للبرودة

التدريجية تتغلغل المياه إلى أسفل المياه الأقل منها ملوحة، ويلاحظ أنه عندما تتجه المياه إلى أسفل على شكل تيارات مائية تفقد حرارتها ببطء تبعاً للضغط الواقع عليها. وهذا ما يعرف باسم التبريد الذاتى *Adiabatic Cooling* ومن أظهر أمثلة ذلك ما يحدث لمياه تيار الخليج الدفئ عندما يقترب من جزيرة نيوفوندلاند. حيث تبرد المياه بالتدريج ثم تتغلغل صوب الأعماق البعيدة تبعاً لإرتفاع نسبة الملوحة فيها.

ب - إنخفاض درجة حرارة المياه السطحية، وكما يحدث ذلك فى بداية فصل الشتاء بالمسطحات المائية القطبية حيث تتعرض المياه السطحية للتجمد، وتتغلغل المياه الباردة إلى أسفل المياه السفلية التى تكون أدفء منها نسبياً. ونتيجة لتكوين الكتل الجليدية والجليد البحرى بالمياه، ترتفع كذلك نسبة الملوحة بالمياه الباردة التى لم تتجمد بعد. ومن ثم تزداد حركة هبوطها إلى أسفل تبعاً لبرودتها من ناحية وإرتفاع نسبة ملوحتها من ناحية أخرى.

الفصل العشرون
حركة المياه فى البحار والمحيطات

مياه البحر فى حركة مستمرة لا تتوقف أبداً *in a constant motion* وتتخذ هذه الحركة عدة مظاهر متنوعة تتمثل فى حركات المد والجزر والأمواج والتيارات البحرية. وفيما يلى حديث موجز عن كل منها :

أولاً : المد والجزر

هذه الحركة عبارة عن إرتفاع وإنخفاض وقتى فى مستوى سطح البحر. وقد لاحظ الانسان هذه العملية منذ القدم، وعرف أنها تحدث بصورة واضحة فى بعض البحار شبه المغلقة بينما من الصعب إدراكها على طول بعض سواحل البحار الأخرى المفتوحة. وقد أدرك الصينيون القدماء، واليابانيون، والأغريق، والرومان حدوث عمليات المد والجزر بالمسطحات البحرية وبالمياه النهرية عند مصبات الأنهار. كما لاحظ المؤرخون العرب كذلك حدوث هذه العمليات بمياه الخليج العربى وفى بعض المسطحات البحرية الأخرى (١).

وقد لاحظ بعض المؤرخين العرب وكذلك سكان السواحل الأوربية التى تحدث فيها عملية المد والجزر، أن هناك علاقة وثيقة بين حدوث هذه العملية وموقع كوكب القمر بالنسبة للأرض. فقد تبين لهم أن المد (إرتفاع منسوب المياه) يبلغ أقصى مداه عندما يكون القمر محاقاً أو بدراً. ومن ثم كان من

---

(١) راجع :

أ - المقدسى ،أحسن التقاسيم فى معرفة الأقاليم، ١٢٨٩ م - ص ١٣ .

ب - ابن الفقيه، ،مختصر كتاب البلدان، ص ٩ .

جـ - شمس الدين الأنصارى الدمشقى، ،نخبة الدهر فى عجائب البر والبحر، ٧٧٢ هجرية ص ١١٧ .

السهل ملاحظة العلاقة بين موقع القمر، وحدوث عملية المد والجزر على طول السواحل المختلفة. ومع ذلك فلم يستطع هؤلاء الكتاب أو غيرهم إدراك كيفية نشوء هذه العملية وأسباب حدوثها فى أوقات معينة.

واستمر الوضع كذلك إلى أن ظهرت نظرية نيوتن *Newton* الخاصة بعمليات جذب الأجسام، وأوضح نيوتن أن عملية الجذب هى التى تنظم سير كل من الكواكب والنجوم فى مدارات خاصة بها فى الفضاء. فالأرض تجذب القمر، كما أن الأخير يجذب كل ما يقع على سطح الأرض عندما يقترب منها. وقد توصل نيوتن إلى قانونه المشهور وهو أن قوة الجذب بين أى جسمين تتوقف على حاصل ضرب كتلة هذين الجسمين مقسوماً على مربع المسافة بينهما. فلو فرض أن هناك جسما كتلته $ك_١$ وآخر كتلته $ك_٢$ والمسافة بين مركزيهما ف. إذن قوة الجذب بين هذين الجسمين تتناسب مع

$$\frac{ك_١ \times ك_٢}{ف^٢}$$

وفى ضوء هذا القانون تختلف قوة جذب أجزاء سطح الأرض المختلفة إلى القمر تبعاً لبعد هذه الأجزاء عن مركز القمر فى حالة اقتراب القمر فى مداره من الأرض.

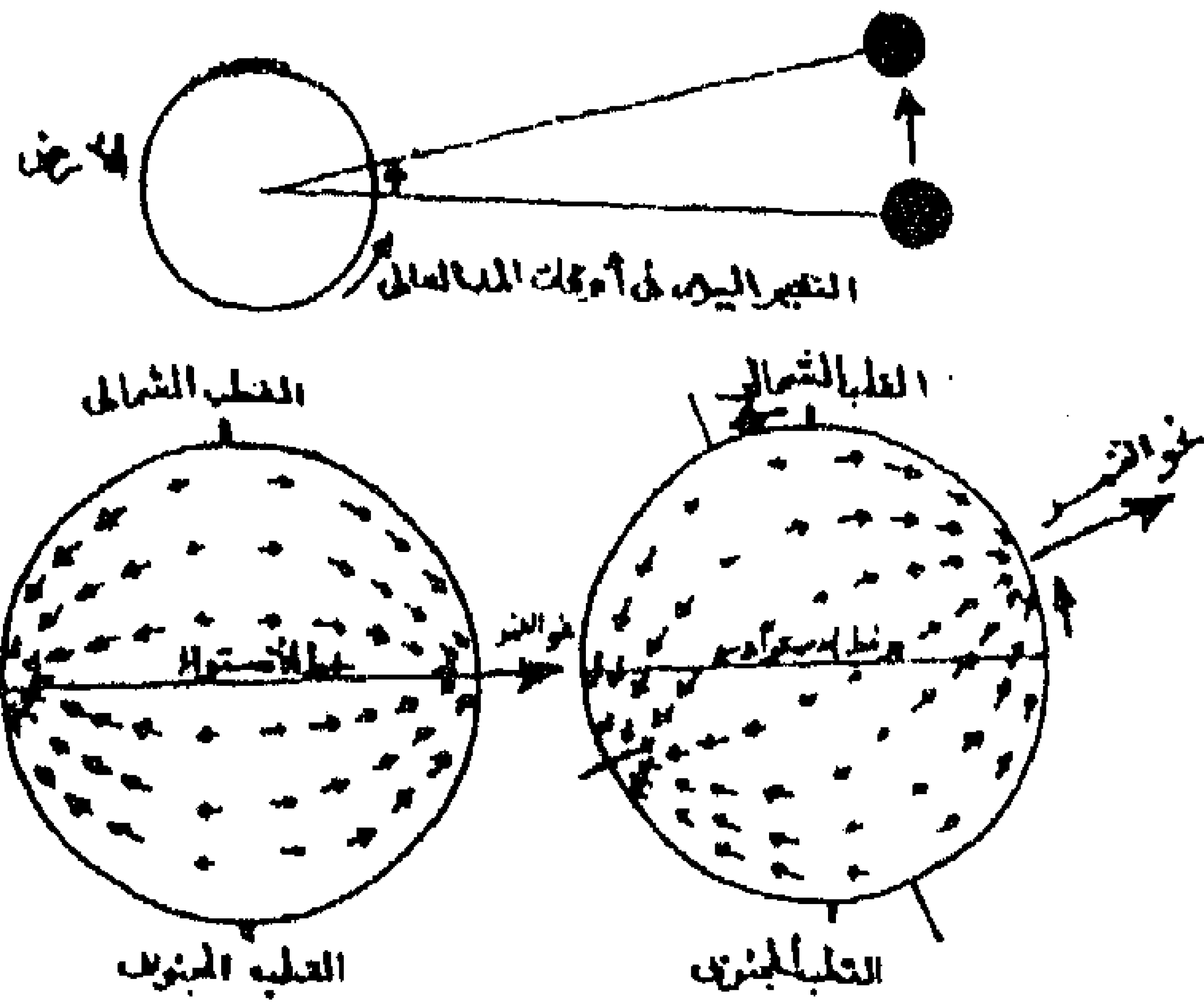
عملية المد والجزر :

أوضحت نظرية نيوتن العوامل التى تؤدى إلى حدوث عملية المد والجزر، وتبين أن هذه العملية الأخيرة تتأثر بما يلى :

أ - قوة جذب القمر والشمس للأرض.
ب - قوة الطرد المركزية للأرض.

وقد اتضح كذلك أن قوة الجذب بين القمر والأرض تقل بسرعة كلما بعد الكوكبان عن بعضهما البعض. وعلى ذلك عندما يواجه القمر كوكب الأرض فإن الجزء الأرضى الذى يواجه القمر يشتد عنده قوى الجذب نحو القمر تبعاً لاقترابه نسبياً من مركز القمر إذا ما قورن بأى جزء آخر يقع بالقرب من

مركز الأرض. وعلى جـــانـب الأرض المواجه لسطح القمر، تزيد قوة الجذب عن قوة الطرد المركزية، وينـجم عـن ذلـك جذب ميـاه سـطح الأرض نحو القمر. أمـا علـى الجـانـب المضاد لموقع القمر، فتزيد قوة الطرد المركزية عن قوة الجذب، ومن ثم يحدث أيضاً جذب المياه أو شدها بعيداً عن موقع القمر (شكل ١١٠).



(شكل ١١٠) توزيع قوى المد والجزر فى حالة وقوع القمر على إمتداد خط الإستواء، وفى حالة وقوعه شمال خط الإستواء

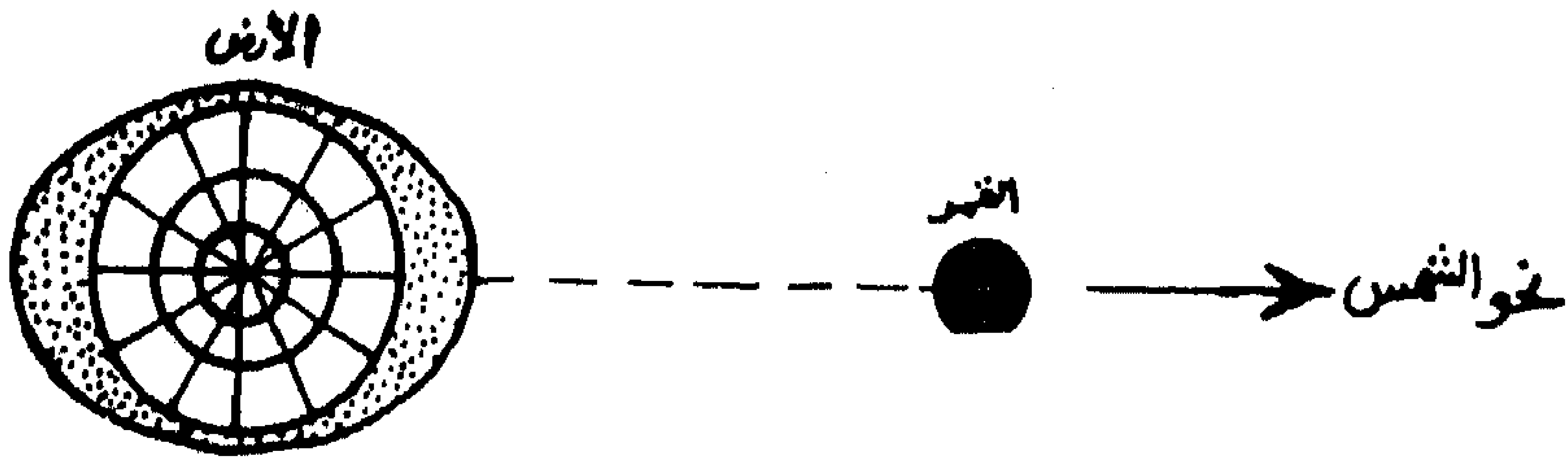
وتؤثر الشمس كذلك فى عملية جذب أجسام سطح الأرض نحوها، ولكن يعد تأثيرها محدوداً تبعاً لبعد طول المسافة بين الشمس والأرض إذا ما قورنت بطول المسافة بين القمر والأرض. هذا بالاضافة إلى أن عملية المد والجزر نفسها لا تتأثر كثيراً بقوة الجذب وحدها بقدر تأثرها بالاختلاف بين قوة جذب مركز الأرض من ناحية وجوانب الأرض من ناحية أخرى.

وتتشكل عملية إمتداد المياه على جانبى الأرض (الجانب المواجه للقمر والآخر المضاد له) وإنحصارها فى الأجزاء الأخرى، تبعاً لعملية دوران الأرض حول نفسها من جهة وموقع القمر بالنسبة للأرض من جهة أخرى. وعلى ذلك فهناك دائماً مناطق يشتد فيها قوى المد وأخرى يقل فيه حدوث المد بالتدريج. وعند دوران الأرض حول محورها فإن القمر يدور كذلك فى نفس الاتجاه تبعاً لتأثره بجاذبية الأرض (شكل ١١٠). فعندما تتم الأرض دورة كاملة، فإن عليها أن تدور قليلاً كذلك (أكثر من دورة) حتى تلحق القمر وتصبح معه على طول خط زوال واحد (ذلك لأن القمر يتم دورته قبل إتمام

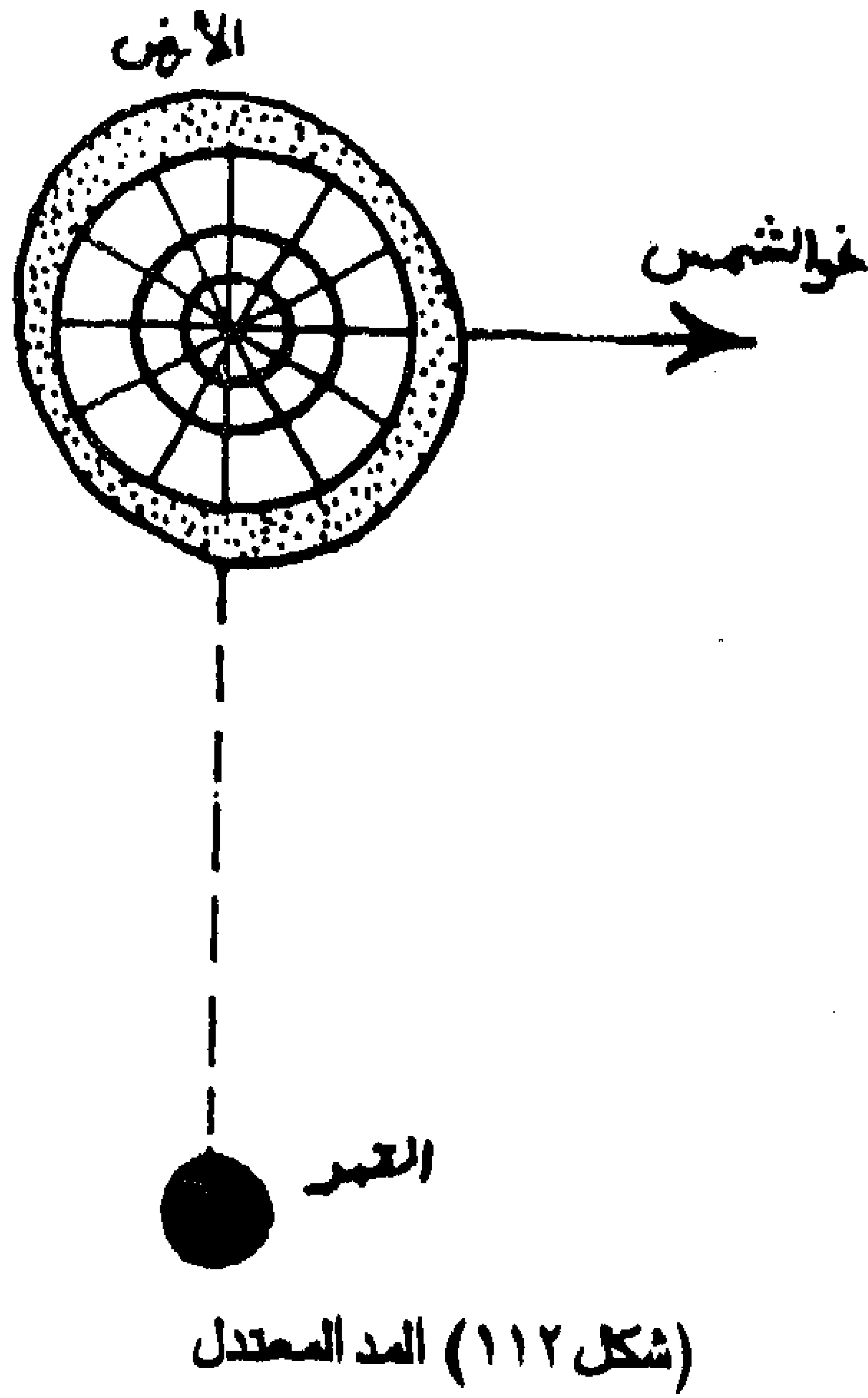
الأرض لدورتها)، وعلى ذلك فإن حدوث المد فى يوم ما يكون متأخراً قليلاً عن حدوثه فى اليوم السابق ويبلغ هذا الإختلاف ٥٠ دقيقة، بينما المتوسط العام لحدوث عملية المد فى موقع ما تحدث كل (٢٥ دقيقة، ١٢ ساعة).

المد العالي والمد المعتدل *Spring tides and Neap tides* :

يتضح مما سبق أن حدوث عملية المد والجزر تعزى إلى أثر جاذبية القمر، إلا أن الشمس تقوم بعامل منظم كذلك لهذه العملية، فإذا وقع كل من الأرض والقمر والشمس على خط زوال واحد (أى على استقامة واحدة) كما يحدث ذلك فى حالتى البدر والمحاق، فيشتد حدوث المد تبعاً لإضافة قوة جذب الشمس إلى قوة جذب القمر وجذبهما معاً المسطحات المائية، ويعرف المد فى هذه الحالة باسم المد العالى *Spring tides* (شكل ١١١) أما اذا وقع القمر والشمس على طول ضلعى زواية قائمة بالنسبة للأرض، فتضعف أو تقلل قوة جذب الشمس *Solar tides* من تأثير قوة جذب القمر *Lunar tides* للمسطحات المائية على الأرض. وعلى ذلك يقل منسوب المد العالى، ويعرف المد فى هذه الحالة باسم الجزر أو المد المعتدل *Neap tides* (شكل١١٢).



(شكل ١١١) المد العالى فى حالة البدر



(شكل ١١٢) المد المعتدل

وحيث إن مدار القمر بيضاوى الشكل فإن طول المسافة بين مركز القمر ومركز الأرض تختلف تبعاً لموقع القمر فى مداره بالنسبة للأرض. وقد تبين أن قوة الجذب القمرى للأرض تزداد بنحو ٢٠٪ من قوة جذب القمر العادية لها، فى حالة اقتراب القمر وهو فى مداره من مركزها. ويقال فى هذه الحالة بأن القمر قريب من الأرض *in perigee*، بينما تقل قوة الجذب القمرى للأرض عندما يبعد وهو فى مداره عن مركز الأرض، ويقال فى هذه الحالة بأن القمر بعيد عن الأرض *in apogee*. وتجدر الاشارة إلى أنه ليست كل السواحل التى تقع على خط طول واحد يحدث عندها المد فى نفس الوقت. وعلى سبيل المثال نجد مثلاً أن كلا من ليفربول ومدينة ليث *Lith* يقعان على خط طول واحد هو ٣° غرباً، إلا أن الفرق الزمنى لحدوث المد عند هذين الموقعين يبلغ نحو ٣ ساعات [١] وعلى ذلك يتضح أن هناك عدة عوامل أخرى تشكل طبيعة عملية المد وتغير ميعاد حدوثها على طول أجزاء السواحل المختلفة إلى جانب القوى الرئيسة التى تتمثل فى قوة جذب القمر وقوة جذب الشمس للأرض. ومن أهم هذه العوامل :

أ - مدى إتساع المسطحات المائية.

ب - مدى إتساع اليابس وكيفية توزيعه بين المسطحات المائية.

جـ - مدى عمق مياه البحر.

---

(1) Lake P., "Physical Geography", Cambrige, 1958.

د - طول موجات المد واختلاف سرعتها من موقع إلى آخر.
هـ - كيفية تشكيل السواحل بواسطة الخلجان والمضايق البحرية المختلفة فيما بينها طولاً وامتداداً وعمقاً.
و - سرعة الرياح، واختلاف اتجاهاتها.

ففى المسطحات المائية الواسعة الإتساع يظهر المد على شكل موجات بحيث يمثل «المد العالى» قمة الموجة، بينما يمثل الجزر قاع الموجة. وترحل هذه الموجات فى مياه المحيط دون تأثير فعل جاذبية القمر أو الشمس. وحيث إن طول موجة المد فى البحار المفتوحة (فيما عدا البحار القطبية) أكبر بكثير بالنسبة لعمق المحيط، فتتوقف سرعة موجات المد فيها على أساس اختلاف عمق المياه. بينما فى البحار التى تتشكل بكثير من الجزر وتداخل أراضى اليابس، فتصطدم موجات المد بها وتتعرقل حركتها. وقد تبين كذلك أن سرعة موجات المد تكبر فى المحيطات العميقة وتقل فى البحار الضحلة.

ثانياً : الأمــــواج

قد تتخذ مياه المحيط السطحية عند تحركها ما يطلق عليه اسم الأمواج. وقد بهرت الأمواج العاتية العالية الإنسان القديم وجعلته يقترب من خط الساحل بحذر شديد، وكثيراً ما كان يتقيد بأرض اليابس التى يعيش عليها. وقد كانت الأمواج العالية فى البحار المضطربة من بين أهم المشكلات التى كانت تواجه السفن الشراعية الخاصة برحلات المصريين القدماء، والفينيقيين واليونانيين والاسكندنافيين والإسبان والبرتغال. وقد عنى قباطنة السفن التى كانت تمخر عباب المحيط الأطلسى الشمالى فيما بين السواحل الغربية لأوربا والساحل الشرقى للعالم الجديد (الذى اكتشف منذ عام ١٤٩٢) بدراسة الأمواج البحرية وحالة البحر وأهمية ذلك على سلامة الملاحة فى المحيط.

ولا تقتصر دراسة أمواج البحر على تخصص معين من الدراسات الأقيانوغرافية فقط، بل تهم كل من الباحثين فى علوم الرياضيات والطبيعة والجيومورفولوجيا، وهندسة الموانى ولا تزال دراسة الأمواج كمياً وتحديد خصائصها وسرعتها فى الأعماق المختلفة تحتاج إلى كثير من الجهد والمزيد من البحث.

وقبل الحديث عن تصنيف أشكال الأمواج وتحديد نشأتها وسرعتها، تحسن الإشارة إلى بعض المصطلحات العلمية التى تتعلق بشكل الموجة نفسها وهى : (شكل١١٣).

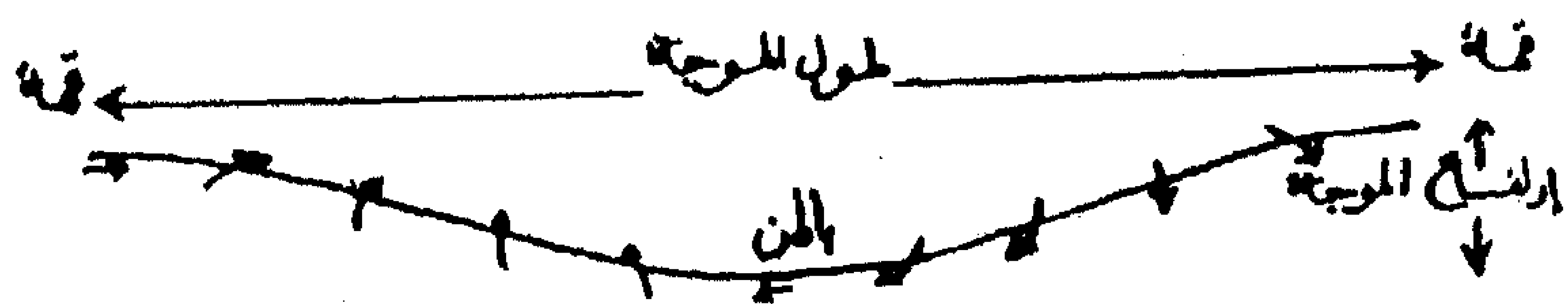
ارتفاع الموجة : (ت)، ويرمز إلى طول المسافة الرأسية بين قمة الموجة وقاعها.

طول الموجة : (ل)، ويقصد به المسافة الأفقية بنى قمتين أو قاعين لموجتين متجاورتين.

زمن دورة الموجة : (ن) الزمن الذى تستغرقه الموجة فى دورانها دورة كاملة لكى تمر من قمة إلى أخرى.

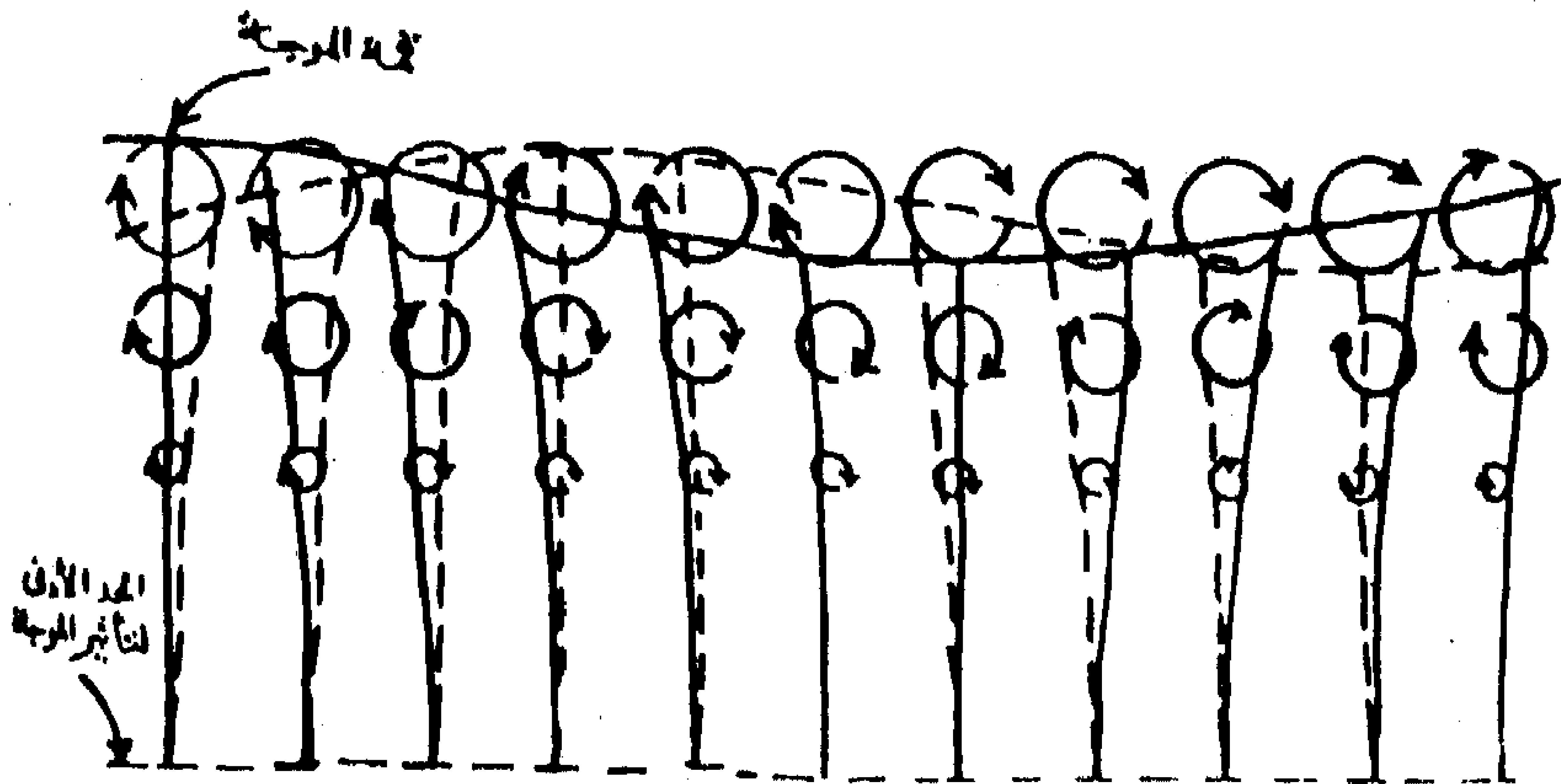
سرعة وجه الموجة : (ع) وهى عبارة عن طول الموجة مقسوماً على زمن دورة الموجة.

أى أن ع = $\frac{ل}{ن}$



(شكل ١١٣) شكل الموجة والمصطلحات الخاصة بمورفولوجيتها العامة

وتتشكل أمواج المحيطات المفتوحة تبعاً لسرعة الرياح وطول الفترة الزمنية التى يشتد خلالها فعل الرياح، وقد رجح بعض الكتاب أن أشد الأمواج إرتفاعاً تتكون فى البحار الجنوبية (فيما بين ٤٠ْ جنوباً وسواحل أنتارتيكا)، وترحل هذه الأمواج لمسافات بعيدة نحو الشمال حتى ولو خرجت من نطاق الرياح التى نشأت فيه. كما تبين كذلك أن الأمواج التى تشاهد على سواحل كاليفورنيا خاصة فى فصل الصيف ما هى إلا نتيجة للعواصف التى تنشأ فى المحيط الهادى الجنوبى. وعلى ذلك قد تتحرك الأمواج لمسافة تزيد عن ٥٠٠٠ ميل من موقع نشأتها الأولى. ويلاحظ أن الأمواج تدور أجزائها فى حركة دائرية بحيث ترجع أجزائها بعد دورانها إلى نفس مواقعها الأولى تقريباً (١) . ذلك لأنه لو كانت المياه تسير بنفس سرعة الأمواج (٢٠ - ٦٠ ميل فى الساعة) لتعذر استخدام المحيطات فى الملاحة البحرية. وتدور أجزاء الموجة دورة كاملة بحيث يقل محيط الموجة فى الاتجاه صوب المياه السفلية، إلى أن تتلاشى الأمواج نهائيا عند عمق ٣٣٠ قدماً من سطح الماء (شكل ١١٤).



(شكل ١١٤) الحركة الدائرية لأجزاء مياه موجة متوسطة الإرتفاع

(1) Lake, P., "Physical Geography", Cambridge, (1958), p. 156.

فإذا تصورنا أن هناك موجة يبلغ طولها ٣٣٠ قدماً وارتفاعها ١٦ قدماً، وتسير بسرعة ٢٨ ميلا في الساعة، ففي هذه الحالة تبلغ سرعة الأجزاء السطحية من الموجة نحو ٤,٤ ميل في الساعة ولكن على عمق ٦٥ قدماً من سطح الماء تبلغ سرعة المياه نحو ١,٢ ميل في الساعة فقط، بينما على عمق ٣٣٠ قدم تتلاشى الأمواج تماماً. وعلى ذلك نجح فينينج منزيز *Vening - Meinsz* في رصد قراءاته عن الجاذبية عندما سكنت غواصته على عمق ١٠٠ قدماً فقط من سطح الماء دون أن تتأثر بحركة الأمواج.

ثالثاً : التيارات البحرية

تعد التيارات البحرية أحد أشكال حركة مياه البحر وتختلف في مظهرها وكيفية حدوثها وتحركها عن كل من المد والجزر والأمواج. فكما سبقت الإشارة من قبل إلى أن المد والجزر *Tides* عبارة عن ارتفاع أو انخفاض وقتي في منسوب سطح البحر ينتج عنه تكوين أمواج المد *Tidal-waves* في المسطحات المائية الأعلى منسوبا وتتجه حركتها على شكل أمواج سطحية وقتية صوب المسطحات المائية الأقل منها منسوبا، ذلك لأن سطح البحر يعد في حالة تعديل دائم لمياهه لكي يكون هذا السطح عند مستوى واحد في كل أجزاء مسطحات مياه البحر (نظرية الأواني المستطرقة).

أما الأمواج الأخرى *Sea-waves* غير الأمواج الناتجة عن المد والجزر *Tidal - waves* فهي تتكون أساسا بفعل احتكاك الرياح *Friction of wind* لسطح البحر وتحريكها المياه السطحية للبحر على شكل أمواج دائرية الشكل لا يظهر منها عند سطح البحر سوى القسم العلوي منها. ومن ثم يتميز سطح البحر عادة بسطحه المموج. وتتحرك المياه السطحية للبحر على شكل حلقات أو دوائر مائية سطحية بحيث تتحرك كل دائرة مائية في مكانها ولكن حركتها

هذه تحرك المياه المجاورة لها بنفس الصورة. ويمكن تشبيه حركة أمواج البحر بحركة التروس المتجاورة المتصلة بعضها بالبعض الآخر فعند تحرك الترس الأول في مكانه يحرك الترس الثاني المجاور له والمتداخل فيه ويحرك هذا الترس الثاني، الترس الثالث المجاور له وهكذا. وتحدث حركة الأمواج في طبقة المياه السطحية من البحار والمحيطات بل والبحيرات ولا تظهر أسفل عمق ٣٣٠ قدم مهما كانت شدة الرياح المحركة لمياه البحر السطحية. وتضعف قوة الأمواج في اتجاه أفقي من مناطق نشوئها إلى المسطحات المائية الأخرى وكذلك في اتجاه رأسي من سطح البحر حتى تتلاشى نهائياً عن عمق ٣٣٠ قدماً. وقد تبلغ سرعة الأمواج عشرات الكيلومترات في الساعة ومع ذلك لا تخرج أمواج البحر أبعد من خط الساحل مهما كانت سرعتها ذلك لأن الأمواج سرعان ما تعود إلى البحر لتكمل بقية حركتها الدائرية وتتكسر الأمواج بالقرب من خط الساحل.

أما التيارات البحرية *Sea - Currents* فهي بخلاف كل أشكال الأمواج، حيث لا يمكن مشاهدتها في البحر، ولا يمكن أن نشعر بوجودها وأماكن نشوئها وتحديد مجموعاتها واتجاهاتها بالنظر المجرد في البحر ويمكن أن نشبه حركة التيارات المائية في الأحواض البحرية بحركة الهواء في الغلاف الغازي. فعند تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض يصعد هذا الهواء إلى أعلى (على شكل هواء صاعد) وعند برودة الهواء في طبقات الجو العليا يهبط هذا الهواء إلى أسفل (على شكل هواء هابط). ولا يمكن للانسان مشاهدة هذا الهواء سواء أكان صاعداً أو هابطاً، ومثله في هذه الحالة مثل التيارات البحرية في البحار والمحيطات والتي تنشأ هي الأخرى تبعا لتنوع الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحر *Differences in Physical and Chemical Characteristice of sea water* فعندما ترتفع كثافة مياه البحر (تبعا لارتفاع حرارة المياه أو تبعا لارتفاع نسبة الأملاح في المياه أو لكليهما معا) تنتقل مياه البحر من المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى المسطحات المائية الأخرى الأقل منها كثافة وذلك على شكل مجموعتين أساسيتين من التيارات البحرية

هما :

أ - التيارات البحرية الأفقية *Horizontal Sea - Currents* :

وفيها تنتقل مياه البحر من مسطح مائى إلى آخر عند نفس المنسوب أو العمق على شكل تيارات أفقية سواء أكانت هذه الحركة الأفقية للمياه تقع بالقرب من سطح البحر *Surface Horizontal Currents* أو بعيدة عن سطح البحر *Deep Horizontal Currents* وقد جرى العرف بين الجغرافيين استخدام تعبير «التيارات البحرية» *Sea - Currents* للإشارة بوجه خاص إلى التيارات البحرية الأفقية السطحية *Surface Horizontal Currents* أى تلك التى تحدث عند أو قرب سطح البحر. وهذه الحركة الأخيرة للتيارات البحرية ما هى إلا حركة محدودة جدا من بقية سلسلة الحركة الكبرى للتيارات البحرية فى الأحواض المحيطية.

ب - التيارات البحرية الرأسية *Vertical Sea - Currents* :

ويقصد بذلك حركة المياه من المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى المسطحات المائية الأخرى الأقل منها كثافة على شكل تيارات رأسية، سواء أكانت هذه الحركة المائية من أعلى إلى أسفل أو من أسفل إلى أعلى.

وعلى الرغم من أن معظم الملاحين القدماء قد لاحظوا حدوث التيارات البحرية فى مياه البحر كما لاحظ حدوثها كذلك ربابنة السفن التى كانت تعبر المحيط الأطلسى فيما بين قارتى أوربا وأمريكا الشمالية منذ بداية القرن السادس عشر وذلك بمشاهدة الأعشاب البحرية التى تطفو على سطح المياه وتنساب مع تحرك التيارات البحرية، إلا أن نشأة هذه التيارات البحرية لم تفسر إبان هذه الفترة تفسيراً علمياً صحيحاً. ونجح ماثيو مورى *M. F. Maury* فى تمييز تيار الخليج الدفئ، وأوضح بأنه عبارة عن «نهر بحرى» تسير مياهه من الجنوب إلى الشمال ويمتد بالقرب من الساحل الشرقى لأمريكا الشمالية. كما ذكر مورى بأن الخصائص الطبيعية لمياه هذا التيار تختلف عن مياه المحيط التى تقع إلى الشرق من ناحية (مياه بحر سرجاسو)، وعن المياه

الساحلية التى تقع إلى الغرب من ناحية أخرى. وأطلق مورى على هذا التيار العجيب اسم «نهر الخليج» *"There is a river in the sea - The Gulf Stream"* ولكن لم يستطع «مورى» أن يقدم التفسيرات العلمية التى توضح نشأة هذا التيار المائى فى المحيط *Its initation or origin*، غير أنه أعتقد بأن كلا من الرياح السائدة وشكل اتجاه خط الساحل لهما دور فى تشكيل إتجاه هذا التيار.

ومن بين الآراء القديمة التى رجحت لتفسير نشأة التيارات البحرية تلك التى تؤكد بأن هذه التيارات تعزى إلى أثر فعل دوران الأرض حول نفسها، أو أنها قد تعزى إلى أثر علاقة ما (غير محددة تماماً) بين كوكب الأرض نفسه وبقية الكواكب الأخرى. بينما أرجعها البعض الآخر إلى أثر فعل الرياح السائدة، وأكد أصحاب هذا الرأى الأخير بأن الرياح هى التى تؤدى إلى نشوء هذه التيارات وتدفعها أمامها لمسافات طويلة. ولكن أوضحت الدراسات الأقيانوغرافية الحديثة بأن فعل الرياح يقتصر على تشكيل اتجاه التيارات البحرية جزئيا ولا يؤدى إلى نشأتها. وقد لاحظ الباحثون وجود تيارات كبرى بالمسطحات المائية التى تتكون فوقها رياح هادئة، كما هو الحال بالنسبة للتيارات الإستوائية البحرية بمناطق الرهو الإستوائى. كما تبين أن نظام التيارات البحرية السطحية بالبحار والمحيطات يكاد يكون نظاماً ثابتاً لا يتغير، ولا يتفق تماماً مع نظام حركة الرياح واتجاهاتها، ومناطق حدوث الأعاصير والإنخفاضات الجوية.

وكان من نتائج تقدم البحث الأقيانوغرافى خاصة فيما يتعلق بقياس درجة حرارة المياه، ونسبة ملوحتها، ودرجة كثافتها أن اتضح بأن عامل إختلاف درجة كثافة المياه من مسطح مائى إلى آخر، يعد العامل الأساسى الذى يؤثر فى تكوين تيارات مائية تنتقل من مسطح مائى إلى آخر فى الطبقات السطحية للمياه. وتتوقف كثافة المياه بدورها على أساس الاختلافات فى درجة حرارة المياه ونسبة ملوحتها كذلك. فتبعا لاختلاف درجة حرارة كل من المياه السطحية والمياه السفلية تنشأ تيارات تصاعدية رأسية وتنساب المياه من

الطبقات المائية الأعلى كثافة إلى الطبقات المائية الأقل كثافة. وحيث إن درجة سقوط الأشعة الشمسية وكميتها تختلف من مسطح مائى إلى آخر، ويقل تعامدها كلما بعدنا عن الدائرة الإستوائية شمالاً أو جنوباً، فتنساب المياه من المسطحات المائية الإستوائية والمدارية الساخنة المرتفعة الحرارة والمرتفعة الملوحة العالية الكثافة على شكل تيارات بحرية سطحية إلى المسطحات المائية فى العروض المعتدلة الأقل حرارة وملوحة وكثافة. وهكذا تنتقل التيارات البحرية الاستوائية الدفيئة (مثل التيار الاستوائى وتيار الخليج الدفئ فى المحيط الأطلسى) إلى المسطحات المائية فى العروض المعتدلة الواقعة إلى الشمال منها وذلك يرجع إلى ارتفاع كثافة مياهها (نتيجة لارتفاع درجة حرارة المياه السطحية ومن ثم تعرض جزء منها للتبخر وتركز الأملاح فى المياه السطحية الأخرى ومن ثم ارتفاع كثافتها). ويطلق على مثل هذه التيارات البحرية السطحية اسم التيارات البحرية الدفيئة ذلك لأن مياهها أعلى حرارة من مياه المسطحات المائية التى تنساب إليها، وتعمل هذه التيارات على رفع درجة حرارة مياه اللسواحل التى تسير بجوارها تلك التيارات.

فى حين تنساب التيارات البحرية القطبية الباردة (مثل تيار لبرادور البارد فى المحيط الأطلسى الشمالى) من المسطحات المائية القطبية والبارد إلى المسطحات المائية المعتدلة الدفيئة أى بخلاف ما يحدث بالنسبة للتيارات البحرية الدفيئة. يرجع السبب فى ذلك إلى تعرض المسطحات المائية القطبية والباردة فى المحيطات إلى البرودة الشديدة وتتجمد المياه السطحية فى تلك المناطق خاصة خلال فصل الشتاء البارد وينتج عن ذلك تركز الأملاح فى المياه السفلية الواقعة أسفل الغطاء الثلجى، ويؤدى هذا إلى ارتفاع نسبة الأملاح فى المياه ومن ثم ارتفاع كثافتها. وتبعا لذلك ولزيادة ثقل المياه تنتقل هذه المياه الباردة الأعلى الكثافة إلى المسطحات المائية المعتدلة الأقل منها كثافة وعلى ذلك يمكن أن نشير إلى حقيقتين هامتين هما :

(أ) تزداد كثافة المياه البحرية طرديا مع ارتفاع درجة حرارة المياه ومع زيادة نسبة الأملاح فيها ولكليهما معاً.

(ب) ترتفع نسبة الأملاح فى مياه البحار إما نتيجة لارتفاع درجة حرارة المياه وتعرض جزء منها للتبخر وتركز الأملاح فى المياه البحرية الباقية كما هو الحال فى المياه الاستوائية والمدارية، وإما نتيجة لانخفاض درجة حرارة المياه وتعرض المياه السطحية للتجمد وتركز الأملاح فى المياه البحرية السفلية الواقعة أسفل الغطاء الثلجى البحرى كما هو الحال فى المياه القطبية.

التوزيع الجغرافي للتيارات البحرية :

تكاد تتمثل فى المسطحات المائية المحيطية خلال فترات السنة المختلفة دورة ثابتة من التيارات البحرية لا يتغير نظامها [١] ولا يشذ عن هذه القاعدة سوى التيارات البحرية فى المحيط الهندى الشمالى التى تختلف مسالكها فى فصل الصيف الشمالى عن تلك فى فصل الشتاء الشمالى متأثرة باختلاف الخصائص الطبيعية المحلية للمياه السطحية بالمحيط الهادى الشمالى. وعلى ذلك يحسن أن نناقش التوزيع الجغرافى للتيارات البحرية بالمسطحات المائية لكل من المحيطات المختلفة.

أولاً : التيارات البحرية في المحيط الأطلسى :

(١) فى المحيط الأطلسى الشمالى[٢] :

تتوقف دورة التيارات البحرية بالمياه السطحية للمحيطات على أساس تكوين التيارات البحرية الإستوائية فى العروض المدارية والقريبة من النطاق الإستوائى. وتنشأ هذه التيارات تبعاً لتعرض المياه السطحية لأشعة الشمس القوية طوال السنة، فترتفع درجة حرارة المياه السطحية ونسبة ملوحتها وتزداد

---

(1) Joseph, E. van Riper, "Mans' physical World", N. Y., (1962), p. 547.

(٢) يقصد بتعبير المحيط الأطلسى الشمالى، تلك المسطحات المائية من هذا المحيط الواقعة إلى الشمال من الدائرة الإستوائية أما المحيط الأطلسى الجنوبى فتمتد مياهه إلى الجنوب من الدائرة الإستوائية.

كثافتها وتنساب بالتدريج على شكل تيارات مائية تتجه نحو المسطحات المائية الأقل كثافة.

وتعرف هذه التيارات فى المحيط الأطلسى الشمالى باسم «التيار الإستوائي الشمالى *N. Equatorial Current*»، ويعتقد بعض الدارسين بأن اتجاه هذا التيار يتأثر هنا جزئياً بفعل الرياح التجارية الشمالية التى تسهم فى دفع مياه التيار من الشرق إلى الغرب فيما بين دائرتى عرض ١٠°، ٢٥° شمالاً[١]. وعلى الرغم من اتساع نطاق هذا التيار إلا أنه يشغل المسطحات العلوية من المياه حيث لا يمتد فى مياه المحيط أبعد من خط عمق ٢٠٠ متر. وتختلف سرعة إنسياب التيار من الشرق إلى الغرب من موقع إلى آخر، وتبلغ السرعة أشدها عند دائرة عرض ٢٠° شمالاً حيث تبلغ سرعة التيار هنا نحو ١٧ ميلاً بحرياً فى اليوم الواحد. وعندما يقترب التيار من خط طول ٦٠° غرباً عند الرفارف القارية للقسم الشمالى الشرقى من أمريكا الجنوبية ينقسم إلى فرعين أحدهما يتجه شمالاً نحو البحر الكاريبى، ويعود ثانية إلى المحيط الأطلسى الشمالى بعد أن يعبر مضيق فلوريدا، بينما يتجه الثانى جنوباً نحو الساحل الشرقى للبرازيل. وعندما يدخل التيار الإستوائى الشمالى خليج المكسيك عن طريق مضيق يوكاتان *Yucatan* يدور مع اتجاه دوران عقرب الساعة ويخرج ثانية من مضيق فلوريدا *Straits of Florida* ثم يلتحم شمالاً عند جزر البهاما *Bahama Islands* بتيار جزر الأنتيل وبقية التيار الإستوائى الشمالى، وتكوّن هذه التيارات مجتمعة ما يعرف باسم تيار الخليج *The Gulf Stream*. وتبين أن التيار الإستوائى الشمالى يخرج من خليج المكسيك أكبر قوة عما كان عليه قبل دخوله الخليج، ويعزى ذلك إلى الارتفاع النسبى لمنسوب مياه خليج المكسيك (نحو ٧ بوصات) عن سطح مياه المحيط المجاورة (شكل ١١٥).

---

(١) لاحظ بأن الرياح لا يمكن لها أن تحرك مياه التيارات البحرية والتى يبلغ سمكها ١٠٠٠ متر. وإن كان للرياح بعض الأثر فيتوقف ذلك على المياه السطحية من مياه البحر فقط.



(شكل ١١٥) حركة التيارات البحرية السطحية فى المحيط الأطلسى

ومن دراسة اتجاهات مسالك التيارات البحرية فى المحيط الأطلسى الشمالى يذكر البعض أن تيار لبرادور البارد يتجه من الشمال إلى الجنوب على طول الساحل الشرقى لأمريكا الشمالية أى مع اتجاه الرياح القطبية الشمالية وأن تيار المحيط الأطلسى الشمالى يتجه هو الآخر من الغرب إلى الشرق أى مع اتجاه الرياح العكسية الغربية عند دائرة عرض ٥٠° شمالاً، غير أنه يتبين كذلك بأنه تيار المحيط الأطلسى الشمالى عند وصوله إلى السواحل الشمالية الغربية لأوربا وعلى طول ساحل اسكنديناوه يتجه على شكل تيار دفئ من الجنوب إلى الشمال أى فى اتجاه مضاد لإتجاه الرياح القطبية وأن تيار كناريا البارد يتجه هو الآخر على طول سواحل البرتغال والساحل الشمالى الغربى لأفريقيا من الشمال إلى الجنوب بخلاف اتجاه الرياح العكسية. ومن دراسة الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه هذا المحيط تبين أن اختلاف درجات حرارة المياه عند عمق ٢٠٠ م تحت سطح البحر لها الأثر الواضح فى تشكيل نسبة الملوحة وتنوع كثافة المياه ومن ثم فى اتجاه التيارات البحرية من المياه الأعلى كثافة إلى تلك الأقل منها كثافة. كما أن اختلاف درجة حرارة

المياه وتنوع كثافتها تؤثر فى سرعة التيار. فتقل درجة حرارة المياه حول السواحل الغربية لجرينلند عن الصفر المئوى وترتفع فى المياه تحت السطحية مباشرة نسبة الملوحة ودرجة الكثافة ومن ثم يتكون تيار لبرادور البارد وتتراوح سرعته من ١٥ إلى ٢٠ سم / ث. فى حين أن تيار المحيط الأطلسى الشمالى ترتفع درجة حرارته نسبياً عن المياه المجاورة له فى هذا المحيط حيث تصل درجة حرارته إلى ١٥° م (بزيادة ١٠° م عن المياه المجاورة له) وترتفع فيه كذلك نسبة الملوحة ومن ثم درجة الكثافة. وعلى ذلك يتميز هذا التيار السطحى بسرعته التى تصل إلى أكثر من ٢٥ سم / ث (شكل ١١٥). ويتضح من هذا العرض أن هناك توافقا ملحوظاً بين اتجاه التيارات وسرعتها وبين اختلاف الخصائص الطبيعية والكيميائية لمياه البحار. أى لا يقتصر دور الأخيرة على نشوء التيارات البحرية بل وفى اتجاهاتها وسرعاتها كذلك.

واعتقد بعض الباحثين أن تيار الخليج يتألف من تيار بحرى سطحى واحد يتجه من الجنوب إلى الشمال بسرعة ٢ ميل / الساعة، ولكن أكدت الدراسات الأقيانوغرافية الحديثة أنه يتألف من عدة أشرطة مائية متجاورة، تنحصر فيما بين المياه الساحلية غرباً، ومياه بحر سرجاسو (اكتسب هذا البحر اسمه تبعاً لانتشار الطحالب البنية اللون والتى تطفو فوق سطح مياهه) شرقاً، وتنساب بسرعات مختلفة. فقد تبلغ سرعة المياه التى تشغل أطرافه الهامشية نحو ١ ميل فى الساعة، بينما تبلغ سرعة القسم الأوسط من التيار نحو ٦ ميل فى الساعة. وعندما تقل سرعة التيار يتموج على شكل منعطفات أو ثنيات كبرى وتصبح أسطح المياه مموجة الشكل ويكثر فيها وجود الدوامات الكبيرة الحجم القليلة السرعة غير المحددة الاتجاه *Turbulent Flow*.

وقد أكد فيست *Wust* أن المياه المنصرفة التى تخرج من مضيق فلوريدا والتى تلتحم بتيار الخليج تبلغ نحو ٢٦ مليون م^{٣} / الثانية، بينما تصريف مياه تيار جزر الأنتيل التى تتصل هى الأخرى بتيار الخليج يبلغ نحو ١٢ مليون م^{٣} / الثانية. كما أوضح وارثينجتون *Worthington*، بأنه على الرغم من أن

تيار الخليج يعد تياراً ضعيفاً ومحدود الإتساع إلا أنه سريع نسبياً حيث تبلغ متوسط سرعته فى قسمه الأوسط (إتساعه ٤٠ ميل) نحو ١٠٠ ميل / اليوم. بينما قدر الأستاذ ديفان *Defant* فى عام ١٩٦١ بأن ما يحمله تيار الخليج من المياه ويدفعها نحو الشمال تبلغ أكثر من ٣٣ مثلاً لحجم تلك الكمية التى تحملها كل الأنهار والثلاجات على سطح اليابس، كما يحمل التيار معه كميات هائلة من الأملاح تبلغ نحو ١,٢١٠,٠٠٠ طن فى الثانية ومتوسط عمقه ١٠٠٠ متر.

ومن دراسة قطاعات الحرارة - الملوحة لمياه تيار الخليج تبين أن درجة حرارة مياه التيار ترتفع عن المياه الساحلية المجاورة له. فبينما تبلغ متوسط درجة حرارة المياه السطحية لتيار الخليج فى فصل الصيف نحو ٢٩° م وفى الشتاء نحو ٢٧° م، تبلغ متوسط درجة حرارة المياه السطحية للمياه الساحلية المجاورة له نحو ١٧° م صيفاً ونحو ٥° م شتاء.

ويلاحظ أن خط الحرارة المتساوى ١٠° ف يوجد بالمياه الساحلية المجاورة لساحل فلوريدا عند عمق ٢٠٠ متر من سطح الماء بينما يتمثل فى كتلة مياه تيار الخليج عند عمق ١٠٠٠ متر[١].

وأن نسبة الملوحة بالمياه الساحلية الواقعة إلى الغرب من تيار الخليج تبلغ نحو ٣٣ فى الألف بينما ترتفع فى مياه تيار الخليج نفسه إلى نحو ٣٦,٥ فى الألف، وترتفع عن ذلك فى مياه بحر سرجاسو الواقع إلى الشرق من تيار الخليج عند دائرة عرض شبه جزيرة فلوريدا. وأوضحت الدراسات أن نسبة الملوحة للمياه السطحية لتيار الخليج بالقرب من رأس هتراس *Cape-Hattears* نحو ٣٦ فى الألف وأن درجة حرارة المياه نحو ٢٦° م، بينما عند عمق ٢٢٠ متر فقط من سطح الماء تنخفض درجة حرارة مياه التيار إلى نحو ٢٠° م، وترتفع نسبة الملوحة كذلك إلى نحو ٣٦,٦ فى الألف كما تختلف سرعة التيار

(1) William S. Von Arex, "An Introduction to physical oceanography", Massachusetts U. S. A. p. 317.

رأسياً، فيلاحظ أن المياه السطحية للتيار أشد سرعة من مياهه السفلية. فبينما تبلغ سرع التيار عند السطح نحو ٢٥٠ سم / الثانية، تتراوح سرعة مياه التيار عند عمق ١٥٠٠ م، من ١ – ١٠ سم / الثانية.

وعندما يصل التيار عند رأس هتراس *Cape Hatteras* عند دائرة عرض ٣٥° شمالاً ، تبلغ سرعة المياه السطحية للتيار نحو ١٢٠ سم / الثانية، وتتراوح كمية التصريف المائى للتيار من ٧٤ إلى ٩٣ مليون سم٣ فى الثانية.

وعندما يصل تيار الخليج إلى الشمال من شبه جزيرة نوفاسكوتشيا *Nova Scotia* وجنوب جزيرة نيوفوندلاند (عند دائرة عرض ٤٥°) تضعف سرعة التيار وتشتت مياهه فى أفرع مختلفة، بعضها يتجه غرباً ليدخل خليج سنت لورنس عن طريق مضيق كابوت *Cabot Strait* وبعضها الآخر يتجه شمالاً حول السواحل الشرقية لجزيرة نيوفوندلاند، وبعضها الآخر يتجه شرقاً فى المحيط الأطلسى الشمالى من المياه الأعلى كثافة إلى المياه الأقل منها كثافة.

وينساب على طول الساحل الشرقى لجرينلند، تيار مائى بارد آخر، يعرف باسم تيار شرق جرينلند *East Greenland Current*، ويلتقى هذا التيار، بتيار لبرادور *Labrador Current* عند رأس شبه جزيرة لبرادور، وبالقرب من المياه الساحلية لميناء باتل هاربر *Battle Harbour*. ثم ينساب التياران جنوباً ويلتقيان بتيار الخليج فى المياه المحيطية حول جزيرة نيوفوندلاند، وينجم عن إلتقاء هذه التيارات المائية الباردة والدفيئة وتجمعها *Zone of convergence* حدوث حركات تقليب رأسية وتشكيل الخصائص الطبيعية والبيولوجية للمياه، هذا إلى جانب إلتقاء الكتل الهوائية المختلفة الملامسة لسطح مياه هذه التيارات وكلها عوامل تؤدى إلى تكوين بيئة بحرية تتكاثر فيها الأسماك. (توفر المواد الغذائية بالمياه وحدوث الضباب البحرى). ثم تنحرف هذه التيارات جميعاً نحو الشرق مكونة تيار المحيط الأطلسى الشمالى *North Atlantic Drift*، وهو تيار هائل الإتساع (يتراوح اتساعه من ٢٥٠ إلى ٣٥٠ ميل). إلا أنه ضحل، ولا يظهر أثره أبعد من خط عمق ١٠٠ متر. وإذا كان اتجاه هذا التيار يتفق مع الاتجاه السائد للرياح العكسية الغربية إلا أن أساس حركته مرجعها

انتقال مياه أعلى كثافة إلى أخرى أقل كثافة.

وعندما يقترب تيار المحيط الأطلسى الشمالى من الجزر البريطانية، يتشتت إلى عدة أفرع وتنساب منه ألسنة من المياه نحو الساحل الغربى لشبه جزيرة اسكنديناوه، وأخرى تدخل بحر الشمال وبحر البلطيق، وهذه الأخيرة عبارة عن تيارات دفيئة بالنسبة لمياه السواحل الباردة التى تتجه إليها. بينما تنساب جنوباً تيارات باردة، تعرف باسم تيار كناريا البارد *Canary Current*. ويسير هذا التيار على طول السواحل الغربية لفرنسا، وشبه جزيرة إيبريا ويصل جنوباً حتى جزر كنارى، وعندها يلتقى بالتيار الإستوائى الشمالى. وتبعاً لذلك تتكون فى هذه المسطحات المائية مناطق إلتقاء تيارات مائية متنوعة تساهم فى حدوث حركات تقليب رأسية بالمياه خاصة فى الفترة من يناير إلى مايو.

(ب) في المحيط الأطلسي الجنوبي :

بالقرب من الدائرة الإستوائية وإلى الجنوب منها يتكون التيار الإستوائى الجنوبى فيما بين دائرتى عرض ٤° شمالاً، ٢٠° جنوباً فى المحيط الأطلسى. ويعد هذا التيار أكبر قوة من ذلك الذى يتكون إلى الشمال منه (التيار الإستوائى الشمالى)، وتبلغ متوسط سرعته نحو ٢٠ ميلاً بحرياً فى اليوم الواحد، وينساب من الشرق إلى الغرب. وعند رأس ساو روك *São Roque*، (كما يرى بعض الكتاب) تقع ألسنة من هذا التيار تحت تأثير الرياح التجارية الجنوبية الشرقية، فتتحرك من الجنوب الشرقى إلى الشمال الغربى وتدخل البحر الكاريبى عن طريق مضيق يوكاتان، وتلتحم بمياه التيار الإستوائى الشمالى. بينما تتجه بقية التيار نحو الجنوب وتسير بمحازاة شاحل شرق البرازيل، ويعرف هنا باسم تيار شرق البرازيل الدفئ وينجم عن إنسياب هذه التيارات الإستوائية نحو الأجزاء الغربية من المحيط الأطلسى، إرتفاع منسوب المياه فى هذا الجزء، ومن ثم ترتد المياه ثانية من الغرب إلى الشرق على شكل تيارات مائية مرتجعة، تنحصر فيما بين التيارين الإستوائيين الشمالى والجنوبى. (شكل ١١٦)، إلا أنها تقع غالباً إلى الشمال من الدائرة الإستوائية.

وعلى ذلك فهناك كميات كبيرة من المياه تنساب مع التيارات البحرية من المحيط الأطلسى الجنوبى إلى المحيط الأطلسى الشمالى، وقدر أركس (١٩٦١) أن كمية تصريف هذه المياه تبلغ نحو مليون متر معكب / الثانية.

ويعد تيار البرازيل تياراً ضعيفاً حيث إنه يفقد من مياهه نحو ٦ مليون متر مكعب من المياه / الثانية، تندفع إلى الشمال الغربى صوب مياه البحر الكاريبى. ومن ثم تصبح كمية التصريف المائى لهذا التيار نحو ١٠ مليون متر مكعب / الثانية (أى نحو ١/١٠ من كمية تصريف مياه تيار الخليج الدفئ) ويسير مجاوراً للساحل الشرقى للبرازيل. وعند دائرة ٣٠ْ جنوباً يتقابل التيار مع تيار آخر يأتى من المسطحات القطبية من الجنوب يعرف باسم تيار فولكلند البارد *Falkland C.* وينحرف التياران نحو الشرق من المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى تلك الأقل منها كثافة إلى أن





(شكل ١١٦) حركة التيارات البحرية السطحية فى محيطات العالم

تصل مياههما الساحل الجنوبى الغربى لأفريقيا وتعرف هنا باسم تيار بنجويلا البارد *Bengula Current*. وتتجه مياه هذا التيار بجوار الساحل الغربى لأفريقيا فيما بين رأس الرجاء الصالح جنوباً ودائرة عرض ١٨ْ جنوباً، ويعمل على تكوين طبقة سطحية من المياه الباردة تمتد لمسافة ٢٠٠ كيلو متر من خط الساحل إلى المحيط وينشأ بفعل هذا التيار حركات توازن رأسية بالمياه تساعد على تجديد المواد الغذائية ببعض أجزاء من المياه الساحلية الواقعة تحت تأثير تيار بنجويلا. وقدر الباحثون أن كمية التصريف المائى لهذا التيار تبلغ نحو ١٧ مليون متر مكعب من المياه / الثانية. وعلى ذلك فهو أكبر قوة من تيار شرق البرازيل الذى يتمثل على الجانب الغربى من المحيط الأطلسى الجنوبى. وإلى الشمال من دائرة عرض ٢٠ْ جنوباً يبتعد التيار عن خط الساحل وينحرف غرباً ليندمج مع التيار الإستوائى الجنوبى.

ثانياً : التيارات البحرية فى المحيط الهادى :

(١) فى المحيط الهادى الشمالي :

تتكون بالمسطحات الإستوائية والمدارية بالمحيط الهادى تيارات مائية تشبه تلك التى سبقت الإشارة إليها من قبل بالمحيط الأطلسى. وفى النصف الشمالى من المحيط يطلق عليها اسم التيار الإستوائى الشمالى بالمحيط الهادى ويتميز هذا التيار بإتساعه النسبى حيث إنه يمتد فيما بين دائرتى عرض ٥ْ إلى ٢٥ْ شمالاً، إلا أن سرعته لا تزيد عن ٢٠ سم / الثانية. ويتجه هذا التيار من الشرق إلى الغرب ويرى البعض أن ذلك يحدث تحت تأثير الرياح التجارية الشمالية الشرقية. وتبعاً لانتشار مجموعات الجزر فى الجزء الغربى من هذا المحيط تشتت مياه هذا التيار إلى أفرع متعددة أهمها ذلك الذى يتجه شمالاً بمحاذاة سواحل الفلبين والساحل الشرقى للصين الشعبية إلى أن يصل جزر ريوكيو وجزيرة شيكوكو اليابانية ويعرف باسم تيار كورشيو الدفئ *Kuroshio*، وينساب منه فرع آخر صوب بحر اليابان ويعرف باسم تيار توسو شيما *Tusu Shima*.

ويشبه تيار كورشيو الدفئ تيار الخليج الدفئ فى المحيط الأطلسى. ويبلغ متوسط سرعة المياه السطحية لهذا التيار فى فصل الصيف نحو ٩٠ سم / الثانية، وتقل سرعة مياهه السطحية فى فصل الشتاء بحيث تبلغ نحو ٦١ سم / الثانية. ويبلغ أقصى امتداد لكتلة مياه هذا التيار من السطح حتى خط عمق ٧٠٠ متر، وتزداد كمية ما يصرفه من المياه خلال فصل الصيف عنها في فصل الشتاء، ويقدر متوسط تصريفه السنوى بنحو ٦٥ مليون م٣ / الثانية.

وعند دائرة عرض ٣٥ْ شمالاً ينحرف التيار شرقاً وينساب منه أفرع ثانوية نحو الشمال وتلتقى عند دائرة عرض ٤٠ْ شمالاً بتيار مائى بارد هو تيار أويا شيو *Oya Shio* أو تيار كوريل البارد. وعند منطقة الإلتقاء هذه تتكون منطقة مائية تكثر فيها الدوامات المائية تبعاً لتكوين حركة التقليب والتوازن الرأسية بالمياه المختلفة الخصائص الطبيعية وينجم عن ذلك تجديد طبقات المواد الغذائية والفيتوبلانكتون بالمياه ومن ثم تكوين مسطحات بحرية غنية بالأسماك.

وتنساب مياه تيار المحيط الهادى الشمالى نحو الشرق على شكل تيار مائى متسع ضحل مع اتجاه الرياح الغربية ومن المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى تلك الأقل كثافة، وعند دائرة عرض ٤٠ْ شمالاً (وإلى الشمال من سان فرانسيسكو على الساحل الغربى لأمريكا الشمالية)، ينحرف التيار إلى فرعين، يتجه أحدهما شمالاً بمحازاة سواحل كندا وألسكا، ويعرف باسم تيار ألسكا الدفئ، بينما ينساب التيار الآخر نحو الجنوب بمحاذاة الساحل الغربى للولايات المتحدة الأمريكية وأمريكا الوسطى ويعرف باسم تيار كاليفورنيا البارد. وينساب هذا التيار الأخير جنوباً حتى دائرة عرض ٢٣ْ شمالاً ويتصل هنا بالتيار الإستوائى الشمالى. ويبلغ متوسط إتساع تيار كاليفورنيا نحو ٧٠٠ كم، وتصريفه المائى نحو ١٠ مليون م٣ / الثانية. وتساهم الرياح الشمالية والشمالية الغربية التى تهب على ساحل كاليفورنيا فيما بين ٣٥ْ، ٤١ْ شمالاً

على حدوث حركات توازن رأسية بالمياه، ينجم عنها تجديد المواد الغذائية بالمياه، وتجمع الأسماك (شكل ١١٦).

(ب) فى المحيط الهادى الجنوبى :

يتكون التيار الإستوائى الجنوبى فى هذا الجزء من المحيط الهادى فيما بين دائرتى عرض ٤°، ١٥° جنوباً وتعزى نشأته أساسا إلى اختلاف الخصائص الطبيعية والكيميائية للمياه وتنتقل المياه من المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى تلك الأقل منها كثافة ويرى بعض الكتاب أن الرياح التجارية الجنوبية الشرقية توجه مسلك هذا التيار الذى يتجه من الشرق إلى الغرب عمودياً على اتجاه الرياح [١] . ونظراً لضحولة هذا التيار من ناحية وإنتشار مجموعات الجزر المتناثرة فى المياه المدارية بالنصف الغربى لهذا المحيط من ناحية أخرى فيتشتت التيار، وتنساب منه أفرع مختلفة يتجه بعضها شمالاً لتتصل بالتيار الإستوائى الشمالى، بينما يصطدم بعضها الآخر بجزر الهند الشرقية ورفارفها القارية، ويرتد فى اتجاه عكسى من الغرب إلى الشرق فيما بين دائرتى عرض ٢° - ٥° شمالا على شكل ما يعرف باسم التيار الإستوائى المرتجع. بينما ينحرف بعضها الآخر جنوباً على شكل تيار ضعيف يسير بمحاذاة الساحل الشرقى لاستراليا، ومن ثم أطلق عليه اتسم تيار شرق استراليا الدفئ. وعند دائرة عرض ٤٠° جنوباً يدخل التيار فى نطاق الرياح الغربية *West Wind Drift* ويتقابل مع التيارات الباردة التى تدفعها الرياح الغربية شرقاً، وعلى ذلك يعبر المحيط الهادى الجنوبى من الغرب إلى الشرق حتى يصطدم بمقدمات الساحل الجنوبى الغربى لشيلى. ويتجه التيار بعد ذلك صوب المياه الدفيئة فى الشمال مجاوراً لساحل شيلى وبيرو ويطلق عليه تيار شيلى أو تيار بيرو أو تيار هبمولت البارد *Humboldt (Peru) or Chile*

---

(١) لاحظ أن الرياح يتغير اتجاهها من فترة الى أخرى فى حين لا يغير التيار البحرى اتجاهه أبداً ويظل فى نظام ثابت. هذا وأن تأثير الرياح قد يكون مقبولاً بالنسبة للمياه السطحية وليس كذلك بالنسبة للمياه السفلية فى البحر.

Current.

ويذكر الأستاذ «ليك» *P. Lake* (١) بأن هذا التيار الأخير يتألف من فرعين متوازيين، الفرع الشرقي هو الذى يرمز إليه باسم تيار بيرو أو تيار شيلى، أما الفرع الآخر الغربى، فيمكن تسميته باسم تيار بيرو أو شيلى المحيطى. ويساهم هذا التيار البارد عندما يلتقى بالمسطحات المائية الدفيئة أمام ساحل بيرو على حدوث حركات توازن رأسية بالمياه. وحسب دراسات جونتر *Gunther* فى عام ١٩٣٦ فإن حركات التقليب الرأسية بالمياه تحدث فيما بين خط عمق ٣٥ إلى ٣٦٠ متر تحت سطح الماء، وينجم عن هذه الحركات الرأسية وفرة المواد الغذائية بالمياه على الرغم من ضيق أبعاد الرفرف القارى. وعلى ذلك استغلت المسطحات المائية بصورة إقتصادية خلال السنوات العشر الماضية وأصبحت الآن من بين أهم المناطق لصيد الأسماك فى العالم ويقترب تيار بيرو من الساحل كثيراً ويختفى أثره إذا ما بعدنا عن خط الساحل بنحو ٥٠٠ ميل فقط. وتتراوح كمية المنصرف من مياهه من ١٠ إلى ١٥ مليون م٣ / الثانية وتبلغ سرعته نحو ٧٥ سم / الثانية.

وقد لوحظ أن هذا التيار قد يحدث فيه بعض التغيرات الثانوية خلال فصول السنة المختلفة. ففى فصل الصيف الشمالى يقع إلى الشمال من الدائرة الإستوائية وتمتزج مياهه بالتيار الإستوائى المرتجع. أما فى فصل الشتاء فيصعب تمييز مياه هذا التيار إلى الشمال من الدائرة الإستوائية، كما أن بعض مياهه (التى تكون قد أصبحت أكثر دفئاً ولكن مازالت نسبة ملوحتها منخفضة) تسير موازية لساحل اكوادور، ويطلق عليها الأهالى هنا اسم تيار النينو *EL NINO* وقد يتجه هذا التيار المحلى جنوباً حتى دائرة عرض ١٢° جنوباً. ويساهم هذا التيار فى إرتفاع نسبة الرطوبة بالجو وحدوث الأعاصير الشديدة والتى تسقط أمطاراً غزيرة تعمل على هلاك أعداد هائلة من الكائنات البحرية

(1) Lake. P., "Physical Geography", Cambridge (1958).

والأسماك والبلانكتون، هذا بالاضافة إلى أن الأمطار الغزيرة كثيراً ما تزيل السماد الطبيعى (جوانو *Guano*) الذى تتركه الطيور فوق بقاع الجزر المتناثرة فى هذه المنطقة. وغالبا ما تحدث الأعاصير المدمرة الناجمة بفعل تأثير تيار النينو مرة شديدة كل سبع سنوات كما حدث ذلك فى أعوام ١٩١١ و١٩١٧ و١٩٢٥ و١٩٣٢ و١٩٣٩ و١٩٤٩.

ثالثاً : التيارات البحرية في المحيط الهندى :

تناظر دورة التيارات البحرية فى المحيط الهندى إلى الجنوب من الدائرة الإستوائية مثليتها فى النصف الجنوبى من المحيط الأطلسى أو تلك فى النصف الجنوبى من المحيط الهادى. ولكن تختلف دورة التيارات البحرية فى المحيط الهندى إلى الشمال من الدائرة الاستوائية عن تلك فى المسطحات المحيطية بنصف الكرة الشمالى تبعاً لتأثر اتجاهاتها بفعل اختلاف الخصائص المائية للحوض الشمالى من المحيط الهندى فى فصل الصيف عنها فى فصل الشتاء (راجع شكل ١١٦).

الفصل الحادى والعشرون
بعض الظاهرات الساحلية

كل «شواطئ» (١) البحر وسواحله الحالية ما هى إلا نتاج التطور الذى حدث ومازال يحدث نتيجة لتقدم البحر وتقهقره عن الأرض المجاورة له. فيؤدى إرتفاع مستوى سطح البحر أو إنخفاض الأرض إلى انغمار أجزاء كبيرة من ظاهرات سطح الأرض والتى قد تكون نشأتها ترجع أصلاً لفعل عوامل التعرية الهوائية الأخرى. وانغمار الأرض تحت مياه البحر بهذا الشكل قد يساعد على تكوين «سواحل» (٢) بحرية أهم ما يميز مظهرها الجيومورفولوجى العام تشكيلها بواسطة الخلجان *Bays* والأخوار والمضايق البحرية *Esturaies* والفيوردات *Fjords* والمعابر الأرضية *Straits*. وقد يفصل بين هذه الظاهرات المختلفة أشباه الجزر الأرضية. وعلى طول السواحل المنغمرة *Coasts of Submergence* قد تنشأ خلجان واسعة الامتداد مثل خليج أستراليا الكبير فى جنوب أستراليا وخليج هدسن فى شمال قارة أمريكا الشمالية. أما إذا انخفض منسوب سطح البحر أو ارتفع سطح اليابس والرفارف القارية *Continental Shelves* المجاورة أو كليهما معاً، فينجم عن هذه العملية تقهقر أو تراجع البحر

---

(١) يقصد بتعبير «شاطئ البحر Coast»، تلك الأراضى التى تمتد وراء الجروف البحرية Marine Cliffs والتى تشرف على الساحل، ويعتبر منسوبها فى معظم الأحيان أعلى من مستوى خط الساحل المجاور.

(٢) يقصد بتعبير «سواحل البحر Shores»، مناطق التقاء مياه البحر بأراضى اليابس. أما تلك المناطق التى تتشكل باختلاف ارتفاع مستوى سطح البحر تبعاً لتأثير فعل المد والجزر تعرف باسم السواحل الأمامية "Fore shores" بينما تلك التى تمتد فيما وراء هذه المناطق السابقة وتنحصر بينها من جهة وبين الجروف البحرية من جهة أخرى فيطلق عليها تعبير السواحل الخلفية "Back shores" . غير أن بعض الباحثين يستخدمون تعبير «شاطئ Shore» مرادفاً لتعبير ساحل "Coast"

خلفياً، وتظهر بالتالى أراضى جديدة تضاف إلى اليابس كانت تمثل من قبل أجزاء قاع البحر. وكثيراً ما تغطى هذه الأراضى الجديدة (خاصة إذا كانت حديثة العمر الجيولوجى) بكميات هائلة من الرواسب البحرية، ويطلق عليها تعبير السواحل البحرية المرتفعة *Coasts of Emergence* والمدرجات البحرية *Marine Terraces* (شكل١١٧).

وتجدر الإشارة إلى أن منسوب سطح البحيرات الكبرى على اليابس قد يتذبذب كذلك من وقت إلى آخر، وقد ينجم عن ذلك تشكيل سواحل هذه البحيرات بظاهرات جيومورفولوجية تشبه تلك التى تتكون على طول السواحل البحرية والمحيطية. وعلى سبيل المثال قد تعرض منسوب مياه بحيرة كيفو *Kivu* للإرتفاع التدريجى فى نهاية الزمن الجيولوجى الثالث نتيجة لتراكم كميات هائلة من اللافا والمصهورات البركانية فى قاع البحيرة، والتى غطت الأراضى المجاورة لشواطئ البحيرة، وتشكلت سواحل بحيرة كيفو ببعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتكون عادة على طول السواحل البحرية



(شكل ١١٧) مدرج بحرى قطعته الأمواج - ساحل لاجولا - كاليفورنيا

المنخفضة. أما إذا تعرض سطح البحيرة للإنخفاض التدريجى كما يحدث ذلك فى بحيرة سولت ليك *Great Salt Lake* فى ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية تبعاً لزيادة كمية المياه المفقودة بالتسرب والتبخر عن تلك المكتسبة من التساقط أو من المياه التى تصبها الأنهار، فتساعد هذه العملية على تكوين شواطئ بحيرية مرتفعة، تظهر على شكل مدرجات بحيرية وتتغطى بعض أجزائها بالرواسب البحيرية. وتتمثل هذه الحالة فى المدرجات البحيرية بإقليم الفيوم التى نتجت تبعاً لإنخفاض مستوى سطح مياه بحيرة قارون، وإنكماشها التدريجى.

العوامل التي تؤثر فى تشكيل الظاهرات الساحلية :

تتأثر الظاهرات الساحلية وتتنوع أشكالها من ساحل إلى آخر تبعاً لكل من :

أ - خصائص التكوين الصخرى والبنية الجيولوجية للمناطق الساحلية.
ب - الأمواج والمد والجزر والتيارات البحرية.
جـ - طول الفترة الزمنية التى تشكلت خلالها الظاهرات الساحلية.

ويعد تباين التكوين الصخرى *Lithological Varition* من بين العوامل المهمة التى تؤثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى لخط الساحل. ويعزى تكوين السواحل والشواطئ المنخفضة الواسعة الامتداد إلى تكوينها من صخور لينة رخوة لم تتعرض لحركات رفع تكتونية فى حين أن السواحل والشواطئ المرتفعة التى تحدها الجروف البحرية *Marine Cliffs* يرجع تكوينها إلى أثر صخورها الصلبة التى تشكلت بحركات رفع تكتونية.

وإذا كانت الجروف البحرية التى تشرف على خط الساحل تتألف من طبقات صخرية صلبة متراكبة فوق طبقات صخرية لينة، وتعرضت للتمزق والتشقق بفعل الشقوق والفواصل الكثيفة *heavily cracked and jointed rock*، فتتآكل الصخور اللينة فى هذه الحالة بسرعة بفعل تكسر الأمواج وتلاطمها على أسطح هذه الجروف، وسرعان ما تنزلق الكتل الصخرية أو

تنهار وتتساقط من أعالى الجروف البحرية لتقدم إلى البحر رواسب قارية جديدة تتجمع فوق أرضية قاعه، ويشتد فعل التعرية وتتآكل الجروف البحرية بسرعة إذا كانت المادة اللاحمة لصخور هذه الجروف ضعيفة التماسك، كما هو الحال فى معظم أجزاء سواحل كل من شرق إنجلترا، وسسكس *Sussex*، وهامبشير *Hampshire* . فعندما تتعرض جروف هذه السواحل لفعل التعرية البحرية تنهار صخورها بسرعة وذلك لأنها تتألف من صخور جيرية بلايوسينية وبلايوستوسينية لينة غير متماسكة.

ولكى ندرك مدى سرعة التعرية البحرية على طول السواحل الشرقية لإنجلترا فقد أوضح الأستاذ ستيرز *Steers, 1953* (١) بأن مقدار التراجع الخلفى لساحل إقليم هولدرنس *Holderness* فى شرق إنجلترا، بلغ ٢١٥ قدماً فى نحو ٣٧ عاماً، أو بما يعادل تراجع خط الساحل نحو ٦ أقدام سنوياً. وتتراجع السواحل خلفياً بسرعة ملوحظة ، إذا كانت تتألف صخورها من الغبار والرماد البركانى الرخو الضعيف التماسك *Soft Volcanic Ash*، كما هو الحال بالنسبة لسواحل جزيرة كراكاتوا *Krakatoa* (فيما بين سومطره وجاوه). وقدر الأستاذ أمجروف *Umbgrove* فى عام ١٩٥٤ أن هذا الساحل يتراجع فى بعض أجزائه بمعدل ١٠٠ قدماً سنوياً خاصة فى أجزاء الساحل التى تتألف من الرماد البركانى الضعيف التماسك. وإذا استمر فعل الأمواج فى تفتيت صخور الساحل فلابد وأن تنقل هذه المفتتات بعيداً عن أقدام الجروف البحرية. أما إذا لم تستطع الأمواج على حمل هذه المفتتات، بالتالى تكون الأخيرة حاجزاً حصوياً يعرقل فعل نحت الأمواج لصخور الساحل.

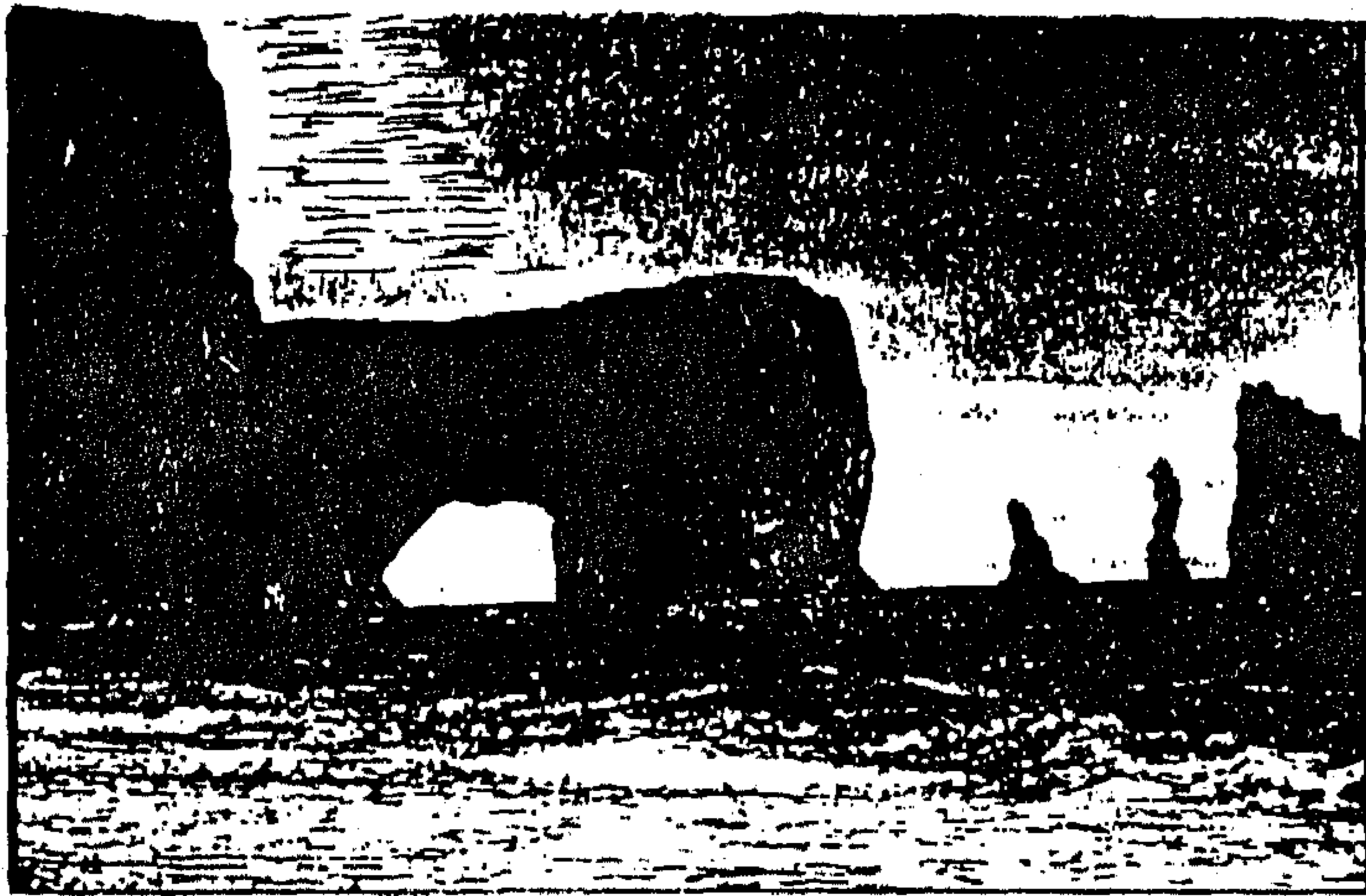
وإذا كانت الجروف البحرية تتكون من طبقات صخرية لينة تقع أسفل طبقات صخرية صلبة، فقد يساعد هذا التكوين الجيولوجى حدوث عمليات الإنزلاق الأرضى *Landslides* والتى تساعد بدورها على تراجع الجروف البحرية، واستمرار تآكلها بفعل التعرية البحرية. وتتمثل هذه الحالة فى بعض

---

(1) Steèrs, J. A., "The sea coast", London, 1953.

أجزاء من سواحل إقليم كيثينيس بإنجلترا وكذلك فى بعض أجزاء من ساحل منطقة سيتون *Seaton* فى دفون شير *Devonshire* بجنوب غرب إنجلترا.
وتبعاً لتعدد العوامل التى تؤثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى للسواحل، ومدى تراجع الجروف والحوائط البحرية تنوعت الظاهرات الجيومورفولوجية على طول سواحل القارات، واختلف مظهرها العام من جزء إلى آخر تبعاً للظروف المحلية الخاصة بكل ساحل. وعندما يشتد فعل تراجع الجروف *Cliff Recession* خلفياً، تترك تحت أقدامها سهولاً أو مدرجات بحرية مستوية السطح (شكل ١١٧)، كما هو الحال بالنسبة للمدرجات البحرية فى منطقة لاجولا، بساحل كاليفورنيا.

وإذا كانت الجروف البحرية تتكون من طبقات صخرية صلبة متراكبة فوق صخور لينة، سرعان ما تعمل الأمواج على نحت الصخور السفلى اللينة، ومن ثم تكتشف مناطق الضعف الجيولوجى فيها، وبمرور الزمن تتسع هذه الفتحات وتتكون ظواهر خاصة مثل الفجوات البحرية والمسلات والجسور والكهوف البحرية (شكل ١١٨).



(شكل ١١٨) المسلات والجسور البحرية

تقييم فعل الأمواج وتيارات المد والجزر والتيارات البحرية :

سبقت الإشارة من قبل إلى كيفية نشوء كل من الأمواج وتيارات المد والجزر والتيارات البحرية والعوامل التى تؤثر فى سرعتها وأشكالها وحركاتها فى البحار والمحيطات. ويتفق الباحثون اليوم *W, V. Lewis, 1959, Stamp, 1960 p. 74* على أن التيارات البحرية تلعب دوراً ضعيفاً إن لم يكن معدوماً فى عمليات النحت البحرى، كما ينحصر تأثير فعل تيارات المد والجزر *Tidal Currents* فى بقاع محلية محددة من سواحل العالم ويتركز هذا الفعل بوجه خاص فى بعض الخلجان والأخوار. ومن ثم فإن فعل البحر كعامل نحت يتمثل فى التأثير الناتج أساساً عن فعل الأمواج المتلاطمة على خط الساحل. ويذكر الأستاذ دادلى ستامب *Stamp 1960, p. 74.*.

"The ocean currents play but a very small part in the erosive work of the sea, and that the effects of tidal currents are limited to a few special cases. The work of the sea is primarily through wave action."

وتبعاً للحركة المستمرة للتيارات البحرية، فإنها تعمل على نقل كميات هائلة من المفتتات الإرسابية الدقيقة الحجم وتلك العالقة بالمياه والحشائش البحرية وتجوب بها البحار والمحيطات. ولا تترسب بعض هذه المفتتات إلا فى حالة دخول أفرع ثانوية من التيارات البحرية البحار الحوضية الضحلة حيث تقوم الأمواج (العمودية على خط الساحل) بنقل بعض هذه المفتتات والرواسب من المياه السطحية للتيارات البحرية وترسبها عندما تصل بها إلى خط الساحل. وتقوم تيارات المد والجزر بنفس هذا العمل عند دخولها الأخوار والخلجان البحرية الضيقة وخروجها منها.

أما الأمواج *Waves* فهى التى تقوم بفعل نقل الرواسب وإرسابها على خط الساحل ونحت صخور الساحل كذلك. وتنشأ الأمواج كما سبقت الإشارة من قبل بفعل إحتكاك الرياح لسطح مياه البحر وتنساب من مناطق نشوئها داخل

البحر وتتحرك فى حركتها الدائرية لمسافات طويلة إلى أن تصل إلى خط الساحل. وقد تشاهد الأمواج فى مسطحات مائية يبدو الهواء فوقها ساكناً، ويطلق على مثل هذه الأمواج التى لا تصطحب الرياح تعبير *Swell* أو *Ground Swell* . وتفقد الأمواج سرعتها بالتدريج أفقياً وكذلك رأسياً، وتختفى حركتها الدائرية عند عمق ٣٣٠ قدماً.

وتؤثر الأمواج فى تشكيل أرضية المسطحات البحرية الضحلة أمام السواحل وخاصة عندما يكون عمق المياه فيها أقل من نصف قطر الموجة. ففى هذه الحالة ترتطم الأمواج بأرضية البحر وتتكسر، وتعمل على تقليب الرواسب المتراكمة فوق أرضية البحر ونقلها وإرسابها من منطقة إلى أخرى. كما قد تنقل الأمواج بعض المفتتات الإرسابية المجهرية العالقة بمياه التيارات البحرية (التى تنساب موازية لخط الساحل) وترسبها أمام السواحل البحرية.

وتتغير إتجاهات الأمواج عند تكسرها قبيل إقترابها من خط الساحل وتصبح أمواجاً منحرفة الإتجاه *Refracted waves* ويتغير إتجاهها عند إرتطام الأمواج بأرضية البحر عندما يكون نصف طول قطر الموجة أكبر من عمق مياه البحر. ويظهر هذا التغيير واضحاً كلما إقتربت الموجة من خط الساحل حيث أن إتجاه الموجة غالباً ما يكون عمودياً على خطوط الأعماق والتى تقل أعماقها هى الأخرى كلما أقتربت من خط الساحل. وتؤثر كل هذه العوامل فى فعل الأمواج كعامل إرساب، وتتنوع حجم الرواسب وأشكالها حسب شكل الساحل إذا كان مستقيم الإمتداد أو هلالى أو دائرى الشكل.

وعندما تصطدم الأمواج بأى عائق ما بالقرب من خط الساحل مثل جزيرة صغير أو قمة تل بحرى أو بحواجز بحرية، ينعكس إتجاه الموجة ويتغير مسارها وتتخذ الموجة إتجاهاً مضاداً لإتجاهها الأصلى، ويطلق عليها فى هذه الحالة بالأمواج المنعكسة الإتجاه *Clapotis Reflected Waves* وتختلف زاوية إنعكاس الموجة تبعاً لإتجاه الموجة بالنسبة لإمتداد العائق الذى إصطدمت فيه.

وتتشكل الأمواج قبل تكسرها بالقرب من خط الساحل بعدة عوامل تتأثر

جميعها بمدى العلاقة بين عمق مياه البحر بالنسبة لنصف طول قطر الموجة، وتتلخص هذه العوامل فى الآتى :

١) تناقص طول الموجة.

٢) تناقص سرعة الموجة.

٣) زيادة إنحدار الموجة (أى العلاقة بين نسبة إرتفاع الموجة إلى طولها).

٤) نظام مسار الموجة.

٥) شكل قطاع الموجة سواء أكان متشابه الجانبين أو غير ذلك.

وقد تبين أن سرعة الموجة فى المياه الضحلة والتى تقل عمقها عن نصف قطر الموجة قد تنخفض إلى نحو ١/٢٣ من سرعتها عند سطح الموجة (١).

وتنحت الأمواج المتكسرة *Breakers* بطرائق مختلفة منها :

أ - حفر أرضية الشاطئ.

ب - نقل المفتتات الإرسابية وتدحرجها وإعادة تفتيتها وتنظيم إرسابها من جديد *Rolling and sorting materials* فوق أرضية الشاطئ.

جـ - نقل بعض المفتتات الإرسابية الخفيفة الوزن وكذلك بقايا الأصداف المتكسرة وتفتيتها عن طريق التعلق *Suspension*.

د - حدوث عمليات التعرية الغطائية *Sheet erosion* عند نهاية مسار الموجة فوق أرضية الشاطئ وتراجع المياه صوب البحر.

وتنحت الأمواج الصخور والجروف البحرية *Marine Cliffs* بفعل الضغط الناتج عنها *Wave pressure* وتلاطمها على أسطح الصخور، وبإحتكاك المفتتات الإرسابية التى تقذفها الأمواج بأسطح الجروف البحرية. ويحسب قوة ضغط الأمواج على الصخور بإستخدام جهاز الدينامومتر *Dynamometers* وتتراوح قوة ضغط الأمواج من بضعة أطنان إلى نحو ٥٠ طن على كل متر

---

(1) Guilcher, Ardré, "Coastal and Submarine morphology" Methuen, (1958), P. 17..

مريع من أسطح الصخور الشاطئية. ومن ثم فإن الأمواج لها القدرة على نقل احجام كبيرة من الكتل الصخرية، وعلى سبيل المثال فقد تمكنت الأمواج من نقل وإزالة كتلة حجرية أسمنتية تزن ٢٦٠٠ طنا من أمام رصيف ميناء «ويك» *Wick Karborw* في عام ١٨٧٧.

وتعمل الأمواج على إعادة سحب المفتتات الإرسابية الشاطئية وجرها مرة أخرى إلى البحر *Wave Quarring* (التقليع الموجى) وتكسر أسطح الصخور وتؤدى إلى تسوية اسطحها *Wave Abrasion*، (البرى الموجى) وتسهم الأمواج في تكوين الحفر والثقوب البحرية *Sea-Notches* والفجوات البحرية الكبيرة الحجم *Sea-holes or geo*، والحوائط البحرية *Sea-Walls* والخنادق البحرية المحفورة أسفل الجروف البحرية *Under-Cutting* وتكوين الأسطح المقشوطة بفعل الامواج *Wave Cut Benches* والمسلات البحرية *Sea-Stacks*. كما تسهم مياه الأمواج المتداخلة في شقوق صخور الجروف البحرية وخاصة الجيرية والطباشيرية منها في حدوث عمليات الإذابة *Solution* ومن ثم في سرعة تآكل الصخر وتحلله.

ويشتد فعل نحت الامواج عند حدوث امواج التسنامى العنيفة *Tsunami* والتى تنتج عن الهزات الزلزالية التى تصيب قاع المحيطات. وتدمر هذه الأمواج العالية ما يقابلها من صخور وجروف ساحلية، وقد يستمر حدوث أمواج التسنامى لعدة ساعات وأحياناً لعدة أيام كما هو الحال على طول بعض مناطق من الساحل الشرقى لآسيا.

وعلى ذلك فإن منطقة خط الساحل تعد الميدان الرئيسى لدور فعل الأمواج كعامل هدم. وعند أقدام الجروف البحرية *Marine Cliffs* تعمل الأمواج على نقل المفتتات الصخرية الساقطة من أعالى هذه الجروف والمتجمعة تحت أقدامها وتقوم الأمواج بسحبها أو جرها إلى داخل البحر. وينتج عن هذه العملية الأخيرة إحتكاك المفتتات بأسطح القسم الأسفل من الجروف ومن ثم نحتها وتعميقها وتكوين فجوات عند أسفلها *Under Cutting*. ويتوالى حدوث

هذه العملية تتعرض أعالى الجروف البحرية للتساقط وتتراجع أوجه الجروف البحرية إلى الخلف *Cliff Recession* وينتج عن تراجع الأمواج عند خط الساحل واحتكاك المفتتات الصخرية بأسطحه تكوين الأرصفة البحرية *Marine Platforms* تحت أقدام الجروف البحرية. ويشيع إنتشار مثل هذه الظاهرات فى التكوينات الصخرية غير المتجانسة فى صخور الشاطئ وخاصة عندما تكون الصخور السفلية للجروف البحرية مكونة من صخور رخوة لينة، ومن ثم يزداد تقويضها ونحتها من أسفل وتعميق أقدام الجروف البحرية وتساقط الصخور من أعالى الجروف ومن ثم تراجعها الخلفى. ومن بين أمثلة ذلك ما يحدث على طول سواحل جزيرة وايت *Isle of Wight* ودوفر فى بريطانيا.

وقد تتعرض الأرصفة البحرية تحت أقدام الجروف البحرية المتراجعة للتآكل والتقويض أو النحت السفلى من جديد *Under Cutting* عند خط الساحل ومن ثم قد تتكون من جروف بحرية جديدة *Marine Cliffs* حديثة النشأة عند الأطراف الحدية للأرصفة البحرية. ويطلق الباحثون على بقايا الرصيف البحرى العلوى القديم (الذى يقع عند منسوب أعلى من منسوب الجروف البحرية الحديثة النشأة) اسم الشواطئ المرفوعة *Raised Beaches*.

وتعمل الأمواج على نقل بعض المفتتات الارسابية الشاطئية وسحبها ودفعها بمساعدة فعل الجاذبية إلى داخل البحر فوق أرضية الرفرف القارى. وبتكرار هذه العملية يصبح أسطح الرفارف القارية مستوية ومغطاه بفرشات هائلة من الرواسب التى تتميز عادة بنسيجها الخشن عند خط الساحل والناعم عند نهايات الرفارف القارية. غير أنه فى بعض المواضع قد يتمثل فى مناطق الرفارف القارية تكوينات صخرية صلبة عالية أو قد تتعرض أجزاء من أرضية الرفارف القارية لعملية الهبوط. ومن ثم ينتج عن ذلك تكوين الجزر القارية التى تبدو بارزة فى أرضية الرفارف القارية وتعلو هاماتها فوق سطح مياه البحر وذلك مثل جزر شمال أسكتلندا وجزيرة قبرص وجزر بحر

إيجة وأقواس الجزر القارية المتناثرة على طول الساحل الشرقى لآسيا.

وعلى ذلك فإن سواحل البحر اما أن تكون ناتجة عن فعل النحت أو عن فعل الارساب أو عن كليهما معاً. وتعد السواحل الجبلية ذات الجروف البحرية المتراجعة سواحل ناتجة أساساً عن فعل النحت ومن بين أمثلتها سواحل مضيق دوفر فى إنجلترا التى تتميز بتراجع جروفها الطباشيرية *The Chalk Cliffs* بمعدل نصف ميل كل ١٠٠٠ سنة (١٥ بوصة فى العام الواحد).

كما تعمل الأمواج على نقل المفتتات الصخرية الشاطئية وحملها إلى أرضية الرفرف القارى وإعادة تنظيم ترسيبها. وقد تبين أن الأمواج المتكسرة عند خط الساحل تعمل على نقل المفتتات الصخرية فى إتجاهات موازية للإتجاه السائد للأمواج، غير أنه عند سحب الأمواج هذه المفتتات الصخرية مرة ثانية إلى البحر يكون إتجاه تحركها موازياً لإنحدار سطح الشاطئ وذلك بمساعدة فعل الجاذبية.

بعض الظاهرات الناتجة عن فعل الأمواج كعامل نحت :

تتآكل الأجزاء اللينة من التكوينات الصخرية للجروف البحرية والشواطئ عن طريق قوة تلاطم الأمواج على أسطحها. غير أن فعل الأمواج يزداد أثره فى هذه الصخور تبعاً لحمل الأمواج عند إندفاعها كميات كبيرة من الرواسب المنقولة معها. وبإحتكاك هذه الرواسب بشدة على أسطح الصخور اللينة يشتد فعل النحت البحرى.

وفى البداية تتكون الثقوب الصغيرة فى أسطح الصخور اللينة، ثم سرعان ما تلتحم هذه الثقوب بعضها مع البعض الآخر وتؤدى إلى تكوين حفر عميقة *Nitches* فى واجهات الجروف والتكوينات الصخرية الأخرى على طول خط الساحل.

وعند إندفاع مياه الأمواج المتكسرة داخل هذه الحفر تتسع وتتعمق بالتدريج وتلتحم مع بعضها البعض وتكون كهوف بحرية *Sea Caves*.

وإذا ما تعرض لسان صخرى ممتد فى البحر إلى النحت المستمر بفعل الأمواج وتكوين الجروف البحرية فى إتجاهين متضادين قد تتصل أطرافهما الداخلية وتستطيع مياه الأمواج المتكسرة فى هذه الحالة أن تدخل من مدخل كهف وتخرج من الكهف الآخر ومن ثم يتكون ما يعرف باسم الجسر البحرى *Marine Bridge*.

ومع إستمرار حدوث فعل الامواج المتكسرة والتى تتلاطم على أسطح الصخور اللينة يزداد إنكشاف مناطق الضعف الجيولوچى فى الصخور وقد تتعرض أسقف الجسور البحرية للتساقط بعد تآكل الصخور السفلية اللينة التى كانت ترتكز عليها ولا يتبقى منه سوى شواهد صخرية تقف فى البحر على شكل مسلات بحرية *Sea Stacks* . وحتى هذه الأخيرة قد لا تسلم من عمليات نحت الأمواج المستمر لها ومع مرور الزمن تنكشف مناطق الضعف الچيولوچى فيها وتنقسم المسلة إلى عدة مسلات أو قد تتفتت كلية وتتحول إلى مفتتات صخرية تنقلها الأمواج وتعمل على إعادة ترسيب حبيباتها فوق أرضية الرفرف القارى.

وتختلف شكل المسلات البحرية من موضع إلى آخر حسب التكوين الچيولوچى لصخور الشاطئ الذى تكسرت منه وإنفصلت عنه. فإذا كانت التكوينات الچيولوچية للجروف تتآلف من صخور رسوبية غير متجانسة تظهر المسلات البحرى على شكل أعمدة صخرية طولية الشكل كما هو الحال عند سواحل رأس مسندم فى مناطق رؤوس الجبال (سلطنة عمان). أما إذا كانت تتآلف من كتل نارية تظهر المسلات البحرية فى هذه الحالة على شكل كتل قبابية كما هو الحال على طول الساحل الشرقى لدولة الإمارات العربية المتحدة فيما بين رأس دبا فى الشمال وخور فكان فى الجنوب.

ومن بين أظهر أشكال المسلات البحرية تلك التى تتكون فى الصخور الطباشيرية على طول السواحل الغربية لجزيرة وايت بإنجلترا وخاصة مسلة النيدل *The Needle* والمسلات البحرية التى تتكون فى صخور الحجر الرملى

الأحمر القديم *Old Red Sandstone* لسواحل أوركنى *Orkneys* بشمال إنجلترا وعند رأس دنكاسبى بإقليم كيثينيس *Caithness* بإنجلترا. كما تتمثل المسلات البحرية أمام ساحل مدينة بيروت بأشكال مختلفة وأكبرها حجماً تلك المعروفة باسم «الروشة»، وتظهر المسلات البحرية أمام ساحل مرسى مطروح بمصر. وفى شتاء عام ١٩٦٤ تعرضت إحدى مسلتى مرسى مطروح لفعل نحت الأمواج الشديد وإختل توازنها وسقطت وتناثرت مفتتاتها فوق أرضية البحر.

بعض الظاهرات الناتجة عن فعل الأمواج كعامل إرساب :

إعتقد الباحثون من قبل أن التيارات البحرية تؤدى إلى إرساب الحصى والحصباء والرمال على طول خط الساحل والشاطئ المجاور. وفى ضوء دراسة الحركة المستمرة للتيارات البحرية أكد ڤون لويس *W.V. Lewis 1959* بأن التيارات البحرية تقوم بعمليات نقل الرواسب (عن طريق الحمل والتعلق) وتبعاً لسمك كتلة مياه التيارات البحرية السطحية (نحو ١٠٠٠ متر) فإنها تنساب بعيدة عن خط الساحل نفسه وتحتل الأعماق البعيدة فى البحار المفتوحة. ولا تتوقف حركة التيارات البحرية السطحية أبداً، فهى فى حركة دائمة ومنتظمة فى البحار مما لا يساعد على حدوث عمليات الارساب. غير أن الأمواج العمودية على خط الساحل هى التى تقوم بنقل بعض المياه السطحية العلوية للتيارات البحرية بما فيها من رواسب، ثم إرسابها على طول خط الساحل. وأكد «لويس» و«ستامب» *L.D. Stamp 1960 p. 80* أن التيارات البحرية نفسها لا تقوم بفعل الإرساب على السواحل التى تمر بجوارها.

وتتجمع الحصى والحصباء والرمال المستديرة والمبططة الشكل فى إتجاه عمودى على إتجاه السائد للأمواج على طول خط الساحل. ومن ثم تتخذ التلال الرملية الإرسابية الساحلية إمتداداً عمودياً على الإتجاه السائد للأمواج التى أرسبتها. ومثل هذه العمليات الإرسابية تؤدى إلى تكوين ما يعرف باسم الألسنة البحرية *Spit* . ومن بين أمثلتها الألسنة البحرية لهرست كاسل *Hurst*

Castle عند ساحل هامبشير فى الساحل المواجه لجزيرة وايت *Wight* وقد تتجمع رواسب الحصى والحصباء بفعل الأمواج أثناء حدوث العواصف البحرية *Sea Storms* وتظهر عند ساحل دنجنس *Dungeness* فى إنجلترا ولا تؤثر فى نشوء الأمواج العمودية على خط الساحل فقط بل تسهم كذلك فى تنظيم تجمع الرواسب الساحلية على طول خط الساحل.

ومع إستمرار حدوث عمليات الإرساب بفعل الأمواج عند الألسنة البحرية إلى داخل البحر فى إتجاه عمودى على إتجاه الأمواج السائدة يتكون ما يعرف باسم الخطاف البحرى. وعندما تتجمع الرواسب الرملية فى مياه عميقة نسبياً وتتأثر بمرور تيارات بحرية بجوارها يتقوس رأس الخطاف ويزداد حجماً وإتساعاً، ومن ثم تتميز المسطحات المائية التى تقع خلف الخطاف البحرى بضحولتها وتتغطى بفرشات واسعة من الطين والمستنقعات البحرية.

وفى بعض المواقع قد تتكون عدة ألسنة بحرية متجاورة، وقد تلتحم رؤوس الخطاطيف البحرية مع بعضها البعض وتكون حواجز ارسابية بحرية *Sea Bars* أمام خط الساحل وتنفصل عنه ببحيرات مستنقعية ضحلة ملحية *Coastal Lagoons or Salt Marshes* وقد تعمل الأمواج فى مناطق الضعف الجيولوجية على حفر فتحات لها فى الحواجز الارسابية وتسهم فى إتصال البحيرات المستنقعية بمياه البحر. ومن بين أظهر أمثلتها ما يتمثل على طول الساحل الجنوبى الشرقى لبحر البلطيق وتظهر الألسنة البحرية فى السواحل المقوسة الشكل عند البروز والرؤوس البحرية، أما على طول السواحل المستقيمة الإمتداد فيتكون عندها حواجز إرسابية رملية موازية لخط الساحل وفى إتجاه عمودى على الاتجاه السائد للأمواج كما هو الحال على طول الساحل الشمالى الغربى لمصر إلى الغرب من الاسكندرية.

وبخلاف السواحل المرتفعة قد تتكون فى بعض المواقع السواحل الغاطسة *Submerged or Sinking Coasts*، ويساعد على ذلك إما هبوط المنطقة الساحلية أو إرتفاع منسوب البحر عن الأرض المجاورة. وينتج عن ذلك توغل

مياه البحر فى الأرض المجاورة وتغطيتها الأراضى المجاورة المنخفضة المنسوب المستوية السطح ودخولها فى الأخوار والخلجان. وقد تتعرض بعض الظواهر مثل الغابات وبقايا الآثار التاريخية والثغور الملاحية للإنغمار بمياه البحر. ومن بين أظهر أمثلة ذلك الغابات الغارقة على طول بعض سواحل الجزر البريطانية.

وتسهم تيارات المد والجزر على نقل كميات ضخمة من الرواسب البحرية (بعضها تم نقله من قبل بفعل التيارات البحرية) والدخول بها إلى الأخوار والخلجان الضيقة وإرسابها فوق سواحلها عند حدوث الجزر وإنسحاب المياه مرة أخرى إلى البحر. ومن بين أمثلة ذلك تجمع الرواسب البحرية على جانبى أخوار أبو ظبى ودبى الشارقة وأم القيوين ورأس الخيمة فى دولة الإمارات العربية المتحدة والخيران فى جنوب الكويت.

من هذا العرض، يتضح أن البحر يقوم بعدة عمليات مختلفة يشكل فيها الظاهرات الساحلية من جهة، وأرضية قاعه من جهة أخرى. وتبعاً لإختلاف مستوى سطح البحر وتذبذبه خلال العصور الجيولوجية المختلفة، أدى ذلك إلى إختلاف أشكال أحواض البحار وإمتدادها وإستمرار عمليات الصراع والنزاع بين اليابس والماء فى تشكيل سطح هذا الكوكب. وتقوم المياه نفسها وكذلك الأمواج التى تحدث فيها بفعل الهدم أو النحت وينجم عن ذلك تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لساحل البحر. وتعمل الأمواج كذلك على نقل مفتتات صخور الشاطئ إلى أعماق المحيط حتى يترسب معظمها فوق أرضية كل من الرفرف والمنحدر القارى. وينجم عن حركة المياه الدائمة توزيع الإرسابات وإنتشارها فى الأعماق المختلفة تبعاً لحجم حبيبات هذه الرواسب من جهة والمصدر الذى تحللت أو تفتتت منه من جهة أخرى. وفى الأعماق البعيدة يتشكل قاع المحيط برواسب الأوز الدقيقة الحجم *Ooze*.

أهم المراجع

(التى ورد ذكرها فى الكتاب)

أولاً : المراجع العربية

١ - ابن حوقل، أبو القاسم النصيبى «صورة الأرض» طبعة ليدن (١٩٣٨) وطبعة بيروت (١٩٦٢).

٢ - ابن خلدون، عبد الرحمن بن محمد «مقدمة ابن خلدون» تحقيق د. على عبد الواحد وافى، القاهرة (١٩٥٧).

٣ - الاصطخرى، أبو اسحاق ابراهيم «المسالك والممالك» تحقيق د. محمد جابر الحسينى - القاهرة (١٩٦١).

٤ - البيرونى، أبو الريحان حمد بن أحمد «مفتاح علم الهيئة» طبعة ليبزج.

٥ - الحموى، ياقوت «معجم البلدان» طبعة بيروت (١٩٥٥).

٦ - الدمشقى، شمس الدين الأنصارى «نخبة الدهر فى عجائب البر والبحر» طبعة المثنى - بغداد.

٧ - القزوينى، زكريا بن محمد «عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات» طبعة القاهرة (١٩٦٦).

٨ - المقدسى، شمس الدين أو عبد الله محمد «أحسن التقاسيم فى معرفة الأقاليم» طبعة ليدن (١٩٠٦).

٩ - حسن ابو العينين «كوكب الأرض» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - الطبعة الحادية عشرة (١٩٩٦).

١٠ - حسن ابو العينين ««أصول الجيومورفولوجيا» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - الطبعة الحادية عشرة (١٩٩٥).

١١ - حسن ابو العينين «جغرافية البحار والمحيطات» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - الطبعة التاسعة (١٩٩٦).

١٢ - حسن ابو العينين «أصول الجغرافيا المناخية» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - الطبعة السابعة (١٩٩٦).

١٣ - حسن ابو العنيين ،الألواح الجيولوجية ونظمها التكتونية، كتاب مترجم - الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٨) ص ٢١٦ .
١٤ - حسن ابو العينين ،من الإعجاز العلمى فى القرآن الكريم، مع آيات الله فى السماء، مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٦) .
١٥ - حسن ابو العينين ،من الاعجاز العلمى فى القرآن الكريم، مع آيات الله فى الأرض، مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٦)
١٦ - سامح غرابيه ويحيى الفرحان ،المدخل الى العلوم البيئية، دار الشروق - عمان - الأردن (١٩٨٧) .
١٧ - صفوح خير ،المنهج العلمى فى البحث الجغرافى، دمشق (١٩٨٣) .
١٨ - عبد الله يوسف الغنيم ،مصادر البكرى ومنهجه الجغرافى، ذات السلاسل - الكويت - الطبعة الثانية (١٩٧٩)
١٩ - عبد الله يوسف الغنيم ،المصادر العربية لمصطلحات الأشكال الأرضية، الجمعية الجغرافية الكويتية رقم (٥٥) الكويت.
٢٠ - عبد الله يوسف الغنيم ،البراكين والحرات والحمات فى التراث العربى، الجمعية الجغرافية الكويتية رقم (١١٧) الكويت.
٢١ - عبد الله يوسف الغنيم ،الجغرافيا العربية، منشور فى البحث والترجمة رقم (٣) الجمعية الجغرافية الكويتية.
٢٢ - عزت خيرى ،تلوث الهواء والماء وآثاره، ندوة الأبعاد الاقتصادية والبيئية للتنمية - جامعة الامارات العربية المتحدة - مارس (١٩٩٠) - الجزء الثانى ص ٢٩١ - ٣٣١ .
٢٣ - فخرى موسى وآخرون ،الجيولوجيا الهندسية، القاهرة (١٩٦٨) .
٢٤ - فيرنسيد و، ج وبولمان ا. م. ،الجيولوجيا، الألف كتاب (٢١٧) ترجمة محمد ابراهيم عطية .
٢٥ - فرد هويل ،مشارف علم الفلك، ترجمة اسماعيل حقى - الألف كتاب (٤٦٣-) القاهرة (١٩٦٣) .
٢٦ - محمد عبد الله الصالح ،مرئية الاستشعار من بعد، الرياض (١٩٩٢) .

٢٧ - محمود حامد محمد «الظواهر الجوية فى القطر المصرى» القاهرة (١٩٢٧).
٢٨ - محمود حامد محمد «المتيورولوجية» القاهرة (١٩٤٦).
٢٩ - محمد على الفرا «مناهج البحث فى الجغرافيا بالوسائل الكمية» وكالة المطبوعات - الكويت - ط ٤ (١٩٨٣).
٣٠ - محمد محمود الصياد «الفكر الجغرافى العربى وتطوره» مجلة الثقافة العربية - المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (١٩٧٥).
٣١ - محمد محمود الصياد «منهج العلماء المسلمين فى البحث الجغرافى» المؤتمر الجغرافى الإسلامى الأول - كلية العلوم الاجتماعية - جامعة الامام محمد بن سعود الاسلامية - الرياض (١٩٧٩).
٣٢ - محمد محمود محمدين «التراث الجغرافى الرسلامى» الرياض (١٩٨٤).
٣٣ - محمد متولى موسى «وجه الأرض» القاهرة (١٩٥٨).
٣٤ - نفيس أحمد «جهود المسلمين فى الجغرافيا»ترجمة محمد عثمان - القاهرة - بدون تاريخ.
٣٥ - يحيى محمد أنور ومحمد العربى فوزى «الجيولوجيا» القاهرة (١٩٦٥).
٣٦ - يحيى هويدى «تطور الحياة الفكرية العامة» الباب الأول من كتاب «تطور الفكر الفلسفى» مطبوعات جامعة الامارات العربية المتحدة - العين (١٩٩١).

ثانيا : المراجع الأجنبية

1- Bailey, E. B., "Sedimentation in relation to tectonics", Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 47 (1946), 1713-26.

2 - Barry, R. G., and Chorley, R. J. "Atmosphere and Climate", Methuen, London (1969).

3 - Blackwelder, E., "Yardnags", Geol. Soc. Amer. Bull. 45 (1934), 195-266.

4 - Blair, T. A., "Weather elements", 4th edi Prentice-Hall (1960).

5 - Bradshaw, M., and Weaver, R., "Physical Geography", Mosby, St. Louis (1993).

6 - Buldel, J., "Klima-genetische geomorphologie", Geographische Rundschau, vol. 15 (1963), 269-285.

7 - Budyko, M. J., "The heat blance of the earth's surface", Translated by N. A. Stepanova U. S. Weather Bureau, Chicago (1958).

8 - Bullard, F. M., "Volcanoes" Edinburgh, (1962).

9 - Brune, W. H., "Ozone Crisis", Weatherwise, 3 (1990), p. 130-143.

10 - Byers, H. R., "General meteorology", Mc. Graw-Hill, N. Y. 3rd edi. (1959).

11 - Chamberlin, T. G. and Salisbury R. A. "Geology" London (1908).

12 - Collier's Encyclopedia. N. Y. (1991) Part (7).

13 - Conrad, V. "Fundamental of Physical Climatology", Harvard Univ., Milton, Mass. (1942).

14 - Cooke, R. U. and Doornkamp, J., "Geomorphology.."

Oxford Univ. Press, (1990).

15 - Covington, M. A., "Astrophotography", Cambridge, Univ. Press (1991).

16 - Cowen, R. C., "Frontiers of the sea", London (1960).

17 - Crowe, P. R., "Wind and weather in the Equatorial Zone", Instit. Brit. Geog. Trans. Press, vol. 17 (1951), 21-76.

18 - Daly, R. A. "Igneous Rocks and the depth of the earth", N. Y. (1933).

19 - Davis, R. A., "Principles of Oceanography" 3rd. edi. (1978).

20 - De Martonne E., "Geographie physique", Paris, (1940).

21 - Dickenson, R. E., "The makers of modern Geography", Routledge and K. Paul, London (1969).

22 - Don Leat and Judson S., "Physical Geology", N. Y. (1965).

23 - Dongles, A. C., "Cloud reeding for piolts" London (1947).

24 - Encyclopedia Americana (1994), vol. 7, p. 510.

25 - Fenner, C. N., in Jour. Geology", vol 34 (1926), p. 673.

26 - Finch, V. C., et al., "Elements of Geography" Mc Graw-Hill, N. Y. 4th edi (1957).

27 - Fitzgerald, B. P. "Development in geographical Methods", Oxford Univ. Press (1978).

28 - Flair, T. A., "Weather elements", Prentice-Hall, N. J. (1959).

29 - Gore, A, "Earth in the blance", N. Y. (1992).

30 - Gregory, S., "Statistical methods and the geographer", Longman, London (1968).

31 - Gregory, K. J., The nature of physical geography", E. Arnold, (1989).

32 - Gregory, J. W., "The Rift Valley and the geology of eastern Africa", London (1921).

33 - Gresswell, K. R., "Physical Geography", Longman 4 th. edi (1972).

34 - Gilluly, T., "Principles of geology", N. Y. (1959).

35 - Hare, F. K., "The restless atmosphere", London (1953).

36 - Harshorne, R., "Prespective on the nature of geography", John Murray, London (1961).

37 - Harvey, D., "Explanation in geography", E. Arnold, London, (1969).

38 - Haurwitz, B., "Dynamic Meteorology", Mc Graw-Hill, N. Y. (1941).

39 - Herbert Riehl, "Introduction to the atmosphere", N.Y. (1972).

40 - Hidore, J. J. and Roberts, "Physical Geography", Mac Millan Publ. N. Y. (1990).

41 - Houghton, H, G., "On the annual heat balance.." Jour. Meteorology, part 1 (1954) 1-9.

42 - Howard Critchfield, "General Climatology", Prentice Hall, N. J., 2nd edi (1966).

43 - Holmes, A., "Physical Geology", London (1978).

44 Holmes, C. D., "Introduction to college geology", M. U. (1962).

45 Houghton, J., et al, "Climatic Change", Cam. Univ. Press (1990).

46 Hoyle, F., "The nature of the Universe", London, (1946).

47 Ian Ridpath. "Illustrated Dictionary of Astronomy", Longman - Librairie du Liban (1987).

48 - Immanuel Kant, "A general theory of the Heaven..." (1955).

49 - James, P. E., "... A History of geographical ideas", N. Y. (1972).

50 - Jensen J. et al, "Remote Sensing..." in Photogrammetric Engineering and Remote Sensing - vol 52 (1986), 87-100.

51 - John Small and Witherick, "A modern dictionary of geography", 3rd edi, E. Arnold (1995).

52 - Johnston, R. J., "Geography and Geographers", E. Arnold, London. 3rd edi (1987).

53 - Kendrew, W. G., "The Climate of the Continents", Oxford. 5th. edi. (1961).

54 - King, C. A. M., "Beaches and Coasts" London (1959).

55 - King, C. A. M., "Oceanography for geographers", London, (1962).

56 - Kuenen, H., "Marine geology", N. Y. (1950).

57 - Lake, P., "Physical geography", Cambridge Univ. Press, 4th edi (1971).

58 - Landsberg, H. E., "Physical Climatology", 2nd edi. Du Bois (1960).

59 - Lang K. R., "Wanderes in the Space", Camb. Univ. Press (1991).

60 - Longwell, C. R. et al, "Ontline of physical geology", N. Y. (1947).

61 - Larkin, R. P. and Peters, G. L., "Biogeographical Dictionary...". Greenwood Press (1993).

62 - Lockwood, J. G., "World Climatology", E. Arnold, (1979).

63 - Lobeck, A. K., "Geomorphology", N. Y., (1939).

64 - Malin, S. and Murdin, P., "Colours of the stars", Camb.

Univ. Press. (1984).

65 - Mather, J. R., "Climatology..." Mc Graw-Hill N. Y. (1974).

66 - Mc Intyre, M. P. et al. "Physical Geography", John Wiley & Sons, N. Y. (1991).

67 - Miller, A., "The Skin of the earth", Methuen London, (1953).

68 - Moran, J., and Morgan, M., "Meteorology", 3rd edi Mac Millan Pub. N. Y. (1991).

69 - Patton, C. P. et al, "Physical Geography", Duxbaury Press, 2nd, edi (1974).

70 - Petterssen, S., "Introduction to meteorology", Mc Graw-Hill, N. Y. (1969).

71 - Reed H. H. and Waston, L., "Introduction to geology", London, (1962).

72 - Riehl, Herbert, "Introduction to atmosphere", Mc Graw-Hill, N. Y. (1972).

73 - Robert T. Dixon, "Dynamic Astronomy" 4th edi Prentice-Hall, N. J. (1989).

74 - Smart, W. M., "The origin of the earth", a Pelican Book, (1959).

75 - Stamp. D. L., "A glossary of geographical terms", London, (1961).

76 - Steers, A. J., "The unstable earth", London, (1961).

77 - Stoddart, D. R., "Climatic geomorphology"... in Progress in geography" vol. 1 (1971) 161-222.

78 - Stokes, W. L., and Judson, S., "Introduction to geology", N. Y. (1958).

79 - Strahler, A. N., "Quantitative geomorphology..", in Hand book of applied "Hydrology:, V. T. Chow, edi N. Y. (1964).

80 - Strahler, A. N., "Physical Geography", 4th, edi. Jon Wiley & Sons, N. Y. (1975).

81 - Summerfield, M. A. "Global Geomorphology", Longman (1991).

82 - Sutton, G. Sir, "Scale of temperature", Weather, vol. 18 part 5 (1963), 130-134.

83 - Sverdrup, H. U. and Others, "The Oceans..", Prentice Hall, N. J. (1942 and 1962).

84 - Talyor, G. F., "Aeronautical meteorology", Pitman, N. Y, (1938).

85 - Taylor, R. T., "Galaxies", Camb. Univ. Press (1993).

86 - Theodore, P. S., "The Dynamic Universe", West Pub. Company (1991).

87 - Thomas, D. S. edition, "Arid Zone Geomorphology", Halsted Press (1989).

88 - Time Life Book - Amesterdem "Computer and Cosmos", (1993).

89 - Trewartha, G. T., "An Introduction to climate", Mc Graw-Hill, N. Y. (1954).

90 - Tricart, J. et Cailleux A., "Introduction à la gèomorphologie climatique" Paris (1965).

91 - Uery, H. C., "The Planets, their origin and development" Oxford Press (1992).

92 - Ward, R., "Climate", end. N. Y. (1918).

93 - Willett, H. C., "Descriptive meteorology", N. Y. (1944).

94 - Wooldridge, S. W. and East, W. G., "The spirit and purpose of geography", London, (1955).

95 - Wooldridge, S. W. and East, W. G., "Geomorphology..", London, (1960).

96 - Van Riper, J. E., "Mans's physical world", Mc Graw-Hill (1962).

97 - Von Arex, W. S., "Introduction to physical Oceanography", London, (1962).

98 - Zeilik et al, "Introductory to Astronomy.." Saunders College Publ. N. Y. (1992).

رقم الصفحة

فهرس محتويات الكتاب

رقم الصفحة

الباب الثالث

النظام الغازى (الجوى)

رقم الصفحة

الباب الرابع
النظام المائى

أهم المراجع

فهرس الأشكال التى وردت بالكتاب

الرقم (أولا) الخرائط والأشكال التوضيحية الصفحة

الرقم | الصفحة

الرقم		الصفحة

رقم الإيداع : ٢٠١١/١٣٣٣